

STUDI PENGARUH BOBOT KAPAL DAN KEDALAMAN PERAIRAN

17.419/H/03

**LAPORAN TUGAS AKHIR
(KL. 1702)**

**STUDI PENGARUH BOBOT KAPAL
DAN KEDALAMAN PERAIRAN
TERHADAP PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA**



RSKe
627.31
Ana
S-1
2002

Oleh :
CHOIRUL ANAM
NRP. 4396100010

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2002

PERPUSTAKAAN
ITS

Abstrak

Dalam tugas akhir ini telah dilakukan studi tentang pengaruh bobot kapal dan kedalaman perairan terhadap perencanaan struktur dermaga terbuka. Struktur dermaga dimodelkan dengan **Structural Analysis Program (SAP) 2000 nonlinear - versi 7.42**, dan dianalisa secara statis untuk memperoleh respon struktur yang berupa gaya-gaya dalam pada setiap elemen struktur (kolom dan balok dermaga). Dengan memvariasikan beban kapal dan tinggi struktur dermaga terhadap titik jepit, respon yang dihasilkan kemudian dipresentasikan dalam bentuk kurva. Pola yang didapat dinyatakan sebagai fungsi **DWT (Dead Weight Tonnage)** kapal. Grafik yang didapatkan tersebut diharapkan dapat dipakai untuk merencanakan struktur dermaga terbuka. Dari penelitian di atas didapatkan hasil antara lain untuk tiang pancang; gaya aksial linear terhadap DWT, sedangkan gaya geser dan momen ultimate berbentuk polynomial orde tiga. Untuk balok memanjang dan melintang; gaya aksial polynomial terhadap DWT kapal untuk 700 sampai 4000 DWT dan linear untuk 4000 sampai 20000 DWT pada semua variasi tinggi struktur, sedangkan gaya geser dan momen ultimate berbentuk polynomial.

Abstract

The influence of ship weight and water depth to the dimension of open berth structure was studied in this thesis. Berth structure modeling used **Structural Analysis Program (SAP) 2000 nonlinear - 7.42 version**. Static analysis was done to get structural respon i.e. inner forces in each element of open berth structure (column and beam). The structural responses based on variation of ship weight and structural height from point of fixity were presented in chart form. The pattern of each chart was expressed as **Dead Weight Tonnage (DWT)** function. We can use it to designing open berth structure. The results of study above were for pile structure; the function of the axial force is linear to DWT, however shear force and ultimate moment are polynomial 3rd order. For longitudinal and tranverse beam structure; the function of the axial force are polynomial to DWT for 700 till 4000 DWT, and linear for 4000 DWT till 20000 DWT in all of height variation of structure, but shear force and moment ultimate are polynomial.

Kata Pengantar

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Pengaruh Bobot Kapal dan Kedalaman Perairan terhadap Perencanaan Struktur Dermaga”**.

Laporan Tugas Akhir ini menjelaskan tentang hubungan antara bobot kapal dalam DWT dan tinggi struktur dermaga, dengan respon struktur yang berupa gaya-gaya dalam, pada perencanaan struktur dermaga terbuka. Sebagai pelengkap studi, pada bagian akhir laporan dilakukan studi kasus pada Dermaga Umum Pelabuhan Probolinggo, P.T. (Persero) Pelabuhan Indonesia III.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini telah banyak bantuan yang telah diterima penulis baik material maupun spiritual. Oleh karena itu patut kiranya apabila penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang besar kepada :

1. Ibu dan Bapak serta keluarga yang telah membiayai dan mendukung penulis selama kuliah serta do'a restu yang telah diberikan,
2. Ir.Murdjito, MSc.Eng. dan Ir.Solihin sebagai dosen pembimbing, yang dengan sabar dan ikhlas telah membimbing dan mengarahkan penulis menyelesaikan tugas akhir ini,
3. Dr.Ir.P.Indiyono, MSc. dan Dr.Ir.Wahyudi, MSc. sebagai Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, beserta seluruh dosen dan staff yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan,

4. Ir.Daniel M. Rosyid, PhD. sebagai dosen wali, atas bimbingan dan arahan selama menempuh perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan
5. DR.Dwi K. dan kawan-kawan se-*halaqoh* atas dorongan semangat, serta seluruh Ikhwah di manapun berada dengan do'a *robithoh*-nya,
6. Kawan-kawan di MMI ITS,
7. Kawan-kawan di Apartemen Perjuangan Lantai IV, dan Lab-kom Teknik Kelautan atas kebersamaan dan kerjasamanya,
8. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Teknik Kelautan, dan semua pihak yang telah membantu, yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Akhirnya sebagai penutup, penulis ingin menegaskan bahwa studi yang telah dilakukan ini adalah masih dalam *initial condition*. Oleh karena itu, penyempurnaan demi penyempurnaan terhadap studi ini sangat penulis nantikan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 12 Juli 2002

Choirul Anam

Daftar Isi

Lembar Pengesahan.....	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Notasi	xi
I. PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Tujuan.....	I-2
1.3 Permasalahan.....	I-2
1.4 Batasan Masalah.....	I-3
II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	II-1
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 Umum.....	II-2
2.2.2 Karakteristik Struktur Dermaga Terbuka	II-3
2.2.3 Kedalaman Kolam Labuh.....	II-5
2.2.4 Beban-Beban pada Struktur Dermaga.....	II-6
2.2.5 Tiang Pancang (Pile)	II-18
2.2.6 Fender	II-23
III. METODOLOGI DAN SISTEMATIKA PENULISAN.....	III-1

IV.	KRITERIA PERENCANAAN DAN TEKNIK PEMODELAN	IV-1
4.1	Kriteria Perencanaan	IV-1
4.1.1	Kriteria Kapal Rencana	IV-1
4.1.2	Bentuk dan Tata Letak Struktur Dermaga.....	IV-2
4.1.3	Material Rencana.....	IV-3
4.1.4	Kriteria Beban Rencana.....	IV-3
4.1.5	Kombinasi Pembebanan.....	IV-5
4.1.6	Fender Rencana	IV-6
4.2	Teknik Pemodelan.....	IV-6
4.2.1	Perhitungan Beban Rencana.....	IV-6
4.2.2	Penentuan Titik Jepit.....	IV-13
4.2.3	Penentuan Fender Rencana	IV-14
V.	ANALISA DAN PEMBAHASAN	V-1
5.1	Running Model.....	V-2
5.2	Pembahasan.....	V-5
5.2.1	Struktur Tiang Pancang.....	V-5
5.2.2	Struktur Balok	V-10
VI.	STUDI KASUS	VI-1
6.1	Data Studi	VI-1
6.1.1	Data kapal rencana	VI-1
6.1.2	Kondisi tanah dasar	VI-1
6.1.3	Data pasang surut	VI-1
6.2	Perencanaan Dermaga	VI-2
6.2.1	Perhitungan tinggi struktur	VI-2

6.2.2 Pembacaan grafik	VI-2
6.2.3 Perencanaan tiang pancang	VI-3
6.2.4 Perencanaan balok	VI-3
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	VII-1
7.1 Kesimpulan.....	VII-1
7.2 Saran.....	VII-2
DAFTAR PUSTAKA.....	VII-1
LAMPIRAN - LAMPIRAN	VII-1

Daftar Tabel

Tabel 2. 1. Beban angin untuk perencanaan.....	II-13
Tabel 2. 2. Gaya bollard dan pendekatan jarak antar bollard.....	II-15
Tabel 4. 1. Data kapal rencana	IV-1
Tabel 4. 2 Perhitungan <i>impact load</i> akibat kec. sandar kapal	IV-7
Tabel 4. 3 Impact load rencana akibat kecepatan angin pada badan kapal	IV-7
Tabel 4. 4 <i>Impact load</i> akibat kec. angin pada badan kapal ke setiap fender	IV-9
Tabel 4. 5 Perhitungan beban impact akibat arus dari sisi kapal	IV-9
Tabel 4. 6 Beban tarikan kapal pada bolder	IV-11
Tabel 4. 7 Perhitungan ship hanging load	IV-12
Tabel 4. 8 Perhitungan letak titik jept untuk Over Consolidated Clay.....	IV-13
Tabel 4. 9 Perhitungan letak titik jepit untuk Normally Consolidated.....	IV-13
Tabel 4. 10 Variasi tinggi struktur.....	IV-14
Tabel 4. 11 Rekap beban rencana efektif pada dermaga	IV-15
Tabel 4. 12 Proyeksi beban rencana akibat gerakan kapal menurut arah bekerjanya beban (kN).....	IV-15
Tabel 5. 1 Gaya aksial maksimum pada tiang pancang	V-2
Tabel 5. 2 Gaya geser maksimum pada tiang pancang	V-2
Tabel 5. 3 Momen maksimum pada tiang pancang.....	V-3
Tabel 5. 4 Gaya aksial maksimum pada balok.....	V-3
Tabel 5. 5 Gaya geser maksimum pada balok.....	V-4

Tabel 5. 6 Momen maksimum pada balok V-4

Tabel 6. 1 Pembacaan grafik dan interpolasi gaya dalam tiang pancang..... VI-3

Tabel 6. 2 Pembacaan grafik dan interpolasi gaya dalam pada balok..... VI-3

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Karakteristik struktur dermaga terbuka	II-3
Gambar 2. 5 Gambar arah gaya bollard	II-16
Gambar 2. 6 Partly-embeded pile & equivalent fixed base pile or column	II-21
Gambar 2. 7 Beberapa jenis fender karet	II-24
 Gambar 3. 1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir	III-3
Gambar 3. 2 Diagram alir pemodelan struktur dermaga dengan SAP 2000	III-4
Gambar 3. 3 Diagram alir studi kasus	III-5
 Gambar 4. 2 Grafik impact load akibat kec. angin pada badan kapal	IV-8
Gambar 4. 3 Grafik beban tarikan pada bolder	IV-10
Gambar 4. 4 Grafik beban kapal menggantung	IV-12
 Gambar 5. 1 Model struktur dermaga terbuka dengan SAP 2000 non linear	V-1
Gambar 5. 2 Grafik gaya aksial maksimum tiang pancang	V-5
Gambar 5. 3 Grafik gaya geser maksimum tiang pancang	V-7
Gambar 5. 4 Grafik momen maksimum tiang pancang	V-8
Gambar 5. 5 Grafik gaya aksial maksimum balok	V-10
Gambar 5. 6 Grafik gaya geser maksimum balok	V-11
Gambar 5. 7 Grafik momen maksimum pada balok	V-13
 Gambar 6. 1 Sket penulangan balok	VI-5

Daftar Notasi

A_c	= Proyeksi luasan kapal di bawah air tegak lurus arah arus
A_s	= Luas tulangan tekan (mm^2)
A_w	= Proyeksi luasan sisi kapal di atas air (m^2)
b	= Lebar balok (mm)
B	= Diameter kolom (mm)
B	= Lebar kapal (m)
BL	= <i>Bollard load</i> (beban akibat tarikan kapal pada boulder)
B_w	= Proyeksi luasan depan kapal di atas air (m^2)
C	= Koefisien berthing
C_c	= Koefisien gaya arus
C_C	= <i>Water cushion effect</i>
C_{CHR}	= Faktor reduksi akibat gerakan kapal yang membentuk sudut terhadap <i>berth line</i>
C_E	= Eksentrisitas
C_H	= Faktor massa tambah
C_S	= <i>Softening effect</i> = 0.9 ~ 1.0
C_w	= Koefisien gaya angin (kN)
d	= Tinggi efektif balok (mm)
D	= Sarat kapal (m)
DL	= <i>Dead load</i> (beban mati atau berat struktur sendiri)
DWT	= <i>Dead weight tonnage</i> (ton)
E_f	= Energi benturan akibat kecepatan sandar kapal pada dermaga

EI	= Modulus elastisitas dan momen inertiya bahan
ϕ	= Faktor reduksi beban
ϕ	= Arah angin terhadap <i>centreline</i>
f'_c	= Mutu beton (MPa)
f_y	= Mutu baja (MPa)
g	= Percepatan gravitasi, $9,81 \text{ m/sec}^2$
γ_c	= Berat spesifik air laut, 10.26 kN/m^3
γ_w	= Berat spesifik udara, 0.0125 kN/m^2
h	= Tinggi balok (mm)
H	= Tinggi struktur dermaga (m)
HL	= <i>Hanging load</i> (beban akibat kapal menggantung pada dermaga)
i	= Jari-jari inertiya kapal, antara $0.2L$ sampai $0.25 L$ (m)
ILC	= <i>Impact load do to current</i> (beban akibat arus pada badan kapal)
ILV	= <i>Impact load do to berthing velocity</i> (beban Impact akibat kecepatan sandar kapal)
ILW	= <i>Impact load do to wind</i> (beban akibat angin pada badan kapal)
K	= $k_1/1.5$
k_1	= <i>Terzaghi's subgrade modulus</i>
L	= Panjang kapal (m)
LL	= <i>Live load</i> (beban hidup yang bekerja di atas struktur)
L_s	= <i>Lenght of ship</i> (panjang kapal)
L_{sf}	= Panjang daerah kontak antara kapal dan fender (m)
M_d	= Displasemen kapal (ton)
M_H	= <i>Hydrodinamic mass</i> (ton)

$M_{maks.}$	= Momen maksimum hasil pemodelan (kN.m)
M_n	= Momen nominal (kN.m)
M_u	= Momen ultimate (kN.m)
n_h	= Koefisien modulus
p	= Tekanan angin (kN/m ²)
P	= External force yang bekerja pada struktur dermaga (kN)
P_c	= Gaya arus pada kapal (kN)
$P_{maks.}$	= Gaya aksial maksimum hasil pemodelan (kN.m)
P_w	= Gaya angin pada kapal (kN)
r	= Jarak dari pusat massa ke titik kontak pada dermaga (m)
ρ	= Rasio kebutuhan tulangan
R	= <i>Stiffness factor</i> untuk <i>over consolidated clay</i>
R^2	= Koefisien korelasi
ρ_b	= Kebutuhan tulangan berimbang
$\rho_{maks.}$	= Kebutuhan tulangan maksimum
SF	= <i>Safety factor</i>
T	= <i>Stiffness factor</i> untuk <i>normally consolidated</i>
V_c	= Kecepatan arus (m/sec ²)
$V_{maks.}$	= Gaya geser maksimum hasil pemodelan (kN.m)
V_w	= Kecepatan angin (m/sec)
Z_f	= Letak titik jepit kolom di bawah tanah

"Dan katakanlah, 'Berkaryalah kamu, niscaya Allah, Rasul-Nya serta orang-orang yang beriman akan melihat hasil karyamu, dan kalian akan dikembalikan kepada Allah yang mengetahui akan yang ghaib dan yang nyata, lalu diheritakan-Nya kepada kalian apa yang telah kalian kerjakan.'"
(QS. At-Taubah, 9:105).

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan sarana transportasi laut, seharusnya diikuti oleh peningkatan penyediaan jumlah fasilitas penunjang. Salah satu fasilitas tersebut adalah dermaga, yaitu suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang, dan menaik-turunkan penumpang.

Pemilihan tipe dan desain struktur dermaga yang tepat akan berpengaruh baik pada operasional maupun perawatan pelabuhan. Sehingga didalam perencanaan pelabuhan perlu dilakukan kajian khusus terkait dengan jenis dan kapasitas pelabuhan, kondisi alam, faktor ekonomis dan lain sebagainya, sehingga diperoleh desain yang efektif dan efisien.

Didalam tugas akhir akan dilakukan studi tentang pengaruh bobot kapal dan kedalaman perairan terhadap perencanaan struktur dermaga. Secara prinsip, terdapat dua tipe dermaga yaitu dermaga terbuka dan dermaga tertutup. Karena beberapa kelebihan yang dimiliki struktur terbuka, maka struktur dermaga yang ditinjau dalam tugas akhir adalah dermaga tipe terbuka.

Merencanakan struktur dermaga merupakan suatu kegiatan yang kompleks, karena terdapat beberapa beban yang bekerja secara vertikal dan secara horizontal. Beban vertikal umumnya berasal dari kendaraan, *crane*, dan muatan, yang semuanya



saat kapal *berthing* ataupun saat melakukan bongkar muat, yang semuanya itu tidak dapat ditentukan secara matematis dengan tepat.

Untuk mempermudah mengetahui pengaruh dari masing-masing tipe beban terhadap perencanaan struktur dermaga terbuka, maka akan ditinjau satu pias struktur dermaga terbuka dengan ukuran panjang 20 meter dan lebar 9 meter, sedangkan tinggi struktur merupakan variasi dari sarat kapal, pasang surut, dan jenis tanah dasar. Untuk membantu perhitungan digunakan *software* struktur SAP 2000 *non linear*.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui hubungan diantara variabel perencanaan dalam perencanaan struktur dermaga terbuka.
2. Mampu menggunakan hubungan variabel perencanaan struktur dermaga terbuka pada suatu studi kasus.

1.3 Permasalahan

Adapun permasalahan dalam studi tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana cara mendapatkan hubungan diantara variabel perencanaan suatu struktur dermaga terbuka.
2. Bagaimana cara menggunakan hubungan variabel perencanaan struktur dermaga terbuka pada suatu studi kasus.



1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan permasalahan, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada *initial condition*, dimana beban-beban yang diperhitungkan antara lain: beban mati, beban hidup, *docking impact* baik yang disebabkan oleh kecepatan merapat kapal pada dermaga ataupun oleh angin dan arus pada badan kapal, beban tarikan pada bolder, serta beban akibat kapal menggantung. Beban gempa dan gelombang tidak ditinjau dengan pertimbangan Indonesia pada umumnya tidak termasuk daerah rawan gempa, dan kolam labuh merupakan perairan yang tertutup.
2. Analisa dilakukan secara statis, dengan bantuan *software* struktur SAP 2000 non linear.
3. Perhitungan beban rencana dilakukan dengan perumusan yang sudah jadi dan tidak dilakukan penurunan rumus.
4. Data-data yang digunakan merupakan data sekunder.
5. Struktur yang ditinjau adalah struktur beton, dengan tiang pancang dari beton *precast prestress* produksi P.T. Wijaya Karya (WIKA), dan balok *cast in situ*.
6. Analisa tiang pancang ditinjau sampai dengan titik jepit Z_f , sehingga untuk aplikasi di lapangan, tiang dipancang harus dipancang sampai lapisan tanah keras atau kedalaman tertentu di mana daya dukungnya memenuhi.
7. Tipe fender yang digunakan adalah fender karet tipe Seibu V produksi Seibu Rubber Chemical Co., Ltd., dengan daya serap energi 50%.

“Sesungguhnya kejujuran membawa kepada kebajikan dan kebajikan membawa ke sorga, dan sesungguhnya seseorang berlaku jujur hingga ditulis di sisi Allah sebagai orang yang sangat jujur. Dan sesungguhnya kedustaan membawa kepada kemaksiatan dan kemaksiatan membawa ke neraka, dan sesungguhnya seseorang berlaku dusta hingga ditulis di sisi Allah sebagai pendusta.” (HR. Bukhari dan Muslim)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI



2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam perencanaan struktur dermaga, selalu didasarkan pada beban-beban rencana yang akan bekerja pada struktur dermaga. Salah satu jenis beban yang signifikan adalah beban yang disebabkan oleh: benturan kapal (*impact load*) baik yang disebabkan oleh kecepatan merapat kapal ataupun oleh hembusan angin dan gerakan arus pada badan kapal, gaya tarikan pada *holder*, dan *ship hanging load*. Beban-beban akibat gerakan kapal tersebut dihitung berdasarkan berat (displasemen) kapal, dimana nilainya tidak dapat ditentukan secara presisi karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Untuk keperluan perencanaan, Thoresen (1988) memberikan panduan nilai-nilai beban rencana struktur dermaga, untuk bobot kapal antara 1,000 sampai 100,000 ton displacemen, yang ditujukan untuk perencanaan struktur dermaga tertutup (*solid berth*) maupun struktur dermaga terbuka (*open berth*).

Pada struktur dermaga terbuka, beban-beban rencana dipikul atau diteruskan oleh tiang pancang. Untuk beban yang lebih besar biasanya dipertimbangkan dengan penggunaan tiang pancang miring. Untuk tiang pancang vertikal, panjang tiang sangat menentukan terhadap dimensi dan kekuatan pile. Beberapa tiang pancang



yang biasa dipakai untuk konstruksi pelabuhan antara lain tiang pancang beton, kayu, dan baja.

Untuk struktur dermaga terbuka yang lebih kecil, dengan kedalaman air kecil dan *bearing capacity* struktur terbatas, biasanya digunakan tiang beton atau kayu. Apabila dibandingkan dengan tiang pancang beton, pipa baja tubular memiliki kelebihan dapat dipancang sampai pada lapisan keras. Untuk pipa diameter 70 cm dapat dipancang sampai pada kedalaman 20 meter. Adapun diameter tiang pancang dermaga yang biasa digunakan adalah antara 50 sampai 80 cm, dengan tebal antara 8 sampai 12 mm (Thoresen, 1988).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Umum

Secara umum dermaga dapat berbentuk *wharf* atau *quay*, dan *pier* atau jembatan. *Wharf* adalah dermaga yang paralel dengan pantai dan biasanya berimpit dengan garis pantai. *Wharf* juga dapat berfungsi sebagai penahan tanah dibelakangnya. *Pier* umumnya merupakan *rectangular wharf* yang menjorok ke laut, sehingga dapat digunakan kapal untuk merapat pada kedua sisinya. *Pier* tidak selalu tegak lurus dengan garis pantai/*wharf line* tetapi dapat juga membentuk sudut. *Pier* dihubungkan dengan pantai atau *general wharf line* oleh *trestle* yang dapat berbentuk L atau T.

Berdasarkan tipe strukturnya, dermaga dibagi menjadi:

- a. Dermaga Tertutup (*Solid Berth*), yaitu apabila struktur dermaga dibangun dengan menguruk pantai sampai dengan *berth front*, dengan menggunakan

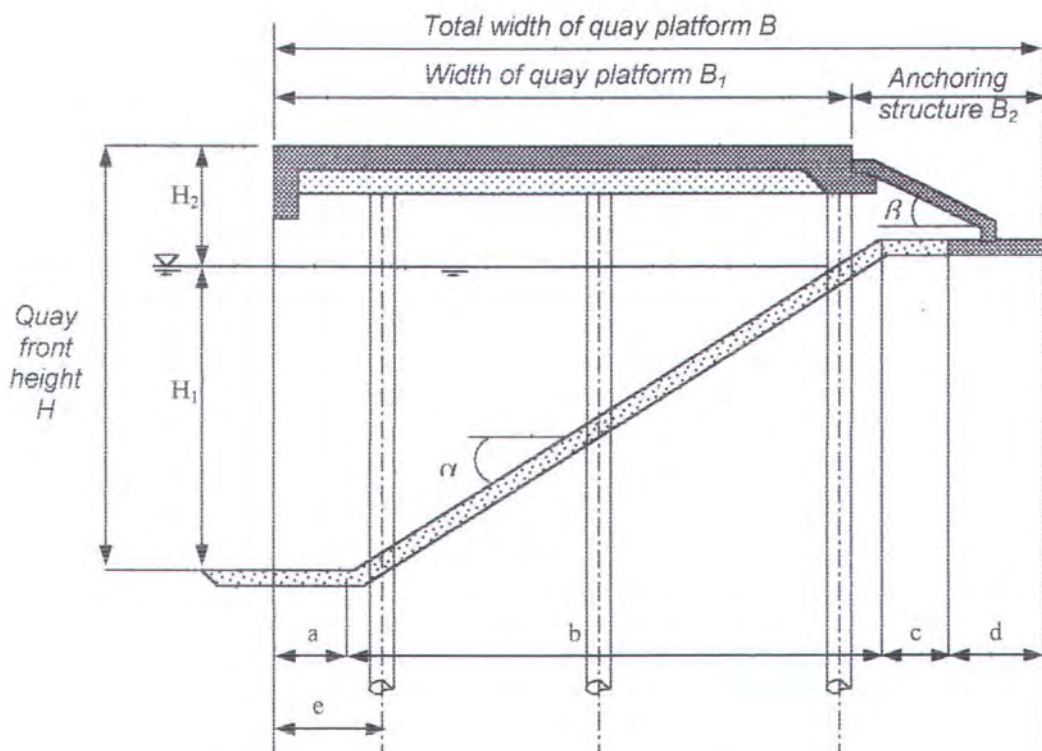


dinding *vertikal front* untuk menahan beban-beban horisontal dari urugan dan beban-beban operasional.

- b. Dermaga Terbuka (*Open Berth*), yaitu apabila struktur disangga oleh kolom atau lamella walls dari permukaan keruk ke struktur atas.

2.2.2 Karakteristik Struktur Dermaga Terbuka

Beberapa ukuran karakteristik yang berpengaruh terhadap pemilihan ukuran dan perencanaan struktur dermaga diberikan seperti pada Gambar 2.1 (Thoresen, 1988). Keterangan setiap notasi pada gambar adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Karakteristik struktur dermaga terbuka (Thoresen, 1988)



- H - Tinggi muka dermaga; ditentukan dari kedalaman air yang diperlukan dan tinggi permukaan dermaga di atas LAT (*Lowest Astronomical Tide*) yang merupakan *chart datum* untuk struktur dermaga.
- H₁ - Kedalaman antara LAT dengan dasar kolam; ditentukan dari sarat kapal pada saat muatan penuh ditambah dengan kedalaman tambahan yang meliputi *trim* kapal, tinggi gelombang dan batas aman ketidakaturan dasar.
- H₂ - Elevasi struktur atas dermaga di atas LAT; ditentukan dari garis kontur daerah di belakang dermaga atau jenis kapal yang akan bersandar pada dermaga. Ketinggian struktur sebaiknya tidak lebih rendah dari elevasi pengamatan air tertinggi ditambah 0.5 m.
- H₃ - Jarak dari dinding belakang atau *slab* penahan di atas LAT. Dasar slab sebaiknya tidak lebih rendah dari elevasi Z₀ di atas LAT.
- a - Jarak *slope*; sebaiknya dimulai sekitar 1.0 m di belakang *berth front* sehingga bagian bawah kemiringan terhindar dari turbulensi propeller kapal. Kemungkinan kelongsoran *slope* diperkirakan masih di dalam *berth front line*.
- b - Jarak yang ditentukan dari kemiringan *slope*. Sudut α umumnya antara 38.7° (1:1.25) sampai 29.7° (1:1.75), tergantung pada material yang digunakan, apakah bongkahan batu, atau yang lain. Biasanya sudut yang dipakai adalah 33.7° (1:1.5). Sudut *slope* ditentukan dari stabilitas *slope*, kekasaran material dan bahaya erosi karena gelombang dan turbulensi propeller kapal.



- c - Merupakan daerah yang rawan terhadap *sliding*. Harga c antara 1.0 s/d 1.5 meter, dan sebaiknya ditutup rapat.
 - d - Lebar *anchor*.
 - e - Jarak antara *berth line* dengan *center line* kolom atau pile penyangga pada baris pertama, ditentukan oleh kemungkinan kapal dengan *bulbous bow* yang cukup menonjol di depan atau di belakang di bawah garis air dan lambung kapal yang melebar pada bagian belakang seperti kapal-kapal kontainer yang besar, akan membentur kolom atau pile apabila bersandar dengan sudut sandar yang besar. Untuk menghindari kemungkinan ini maka *center line* kolom sebaiknya diambil 2 m di belakang *berth line*.
- B_1 - Lebar struktur dermaga.
- B_2 - Lebar anchoring structure.

2.2.3 Kedalaman Kolam Labuh

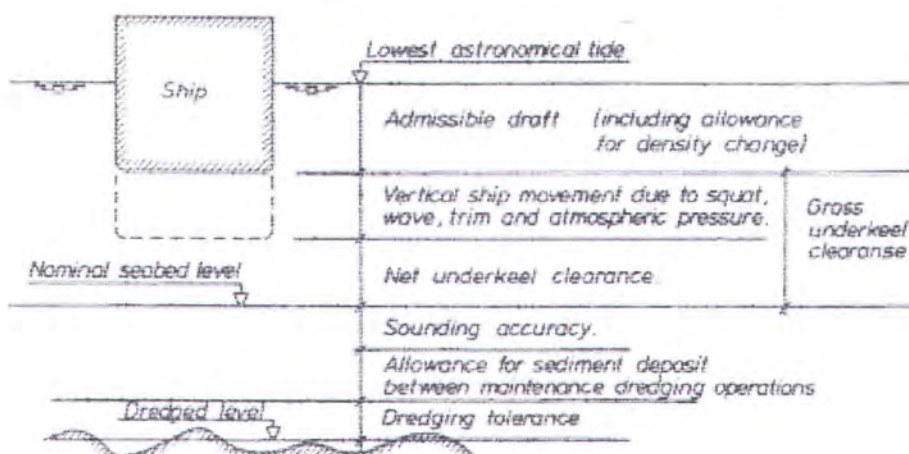
Kedalaman kolam labuh didasarkan pada sarat maksimum kapal rencana dan ditentukan dari beberapa faktor berikut :

- Sarat kapal pada saat muatan penuh,
- Variasi pasang surut,
- Gerakan kapal karena gelombang,
- *Trim* karena pembebanan kapal,
- *Squat*,
- Tekanan atmosfer,
- Kondisi tanah dasar,
- Toleransi pengerukan,



- Kemungkinan *silting up*.

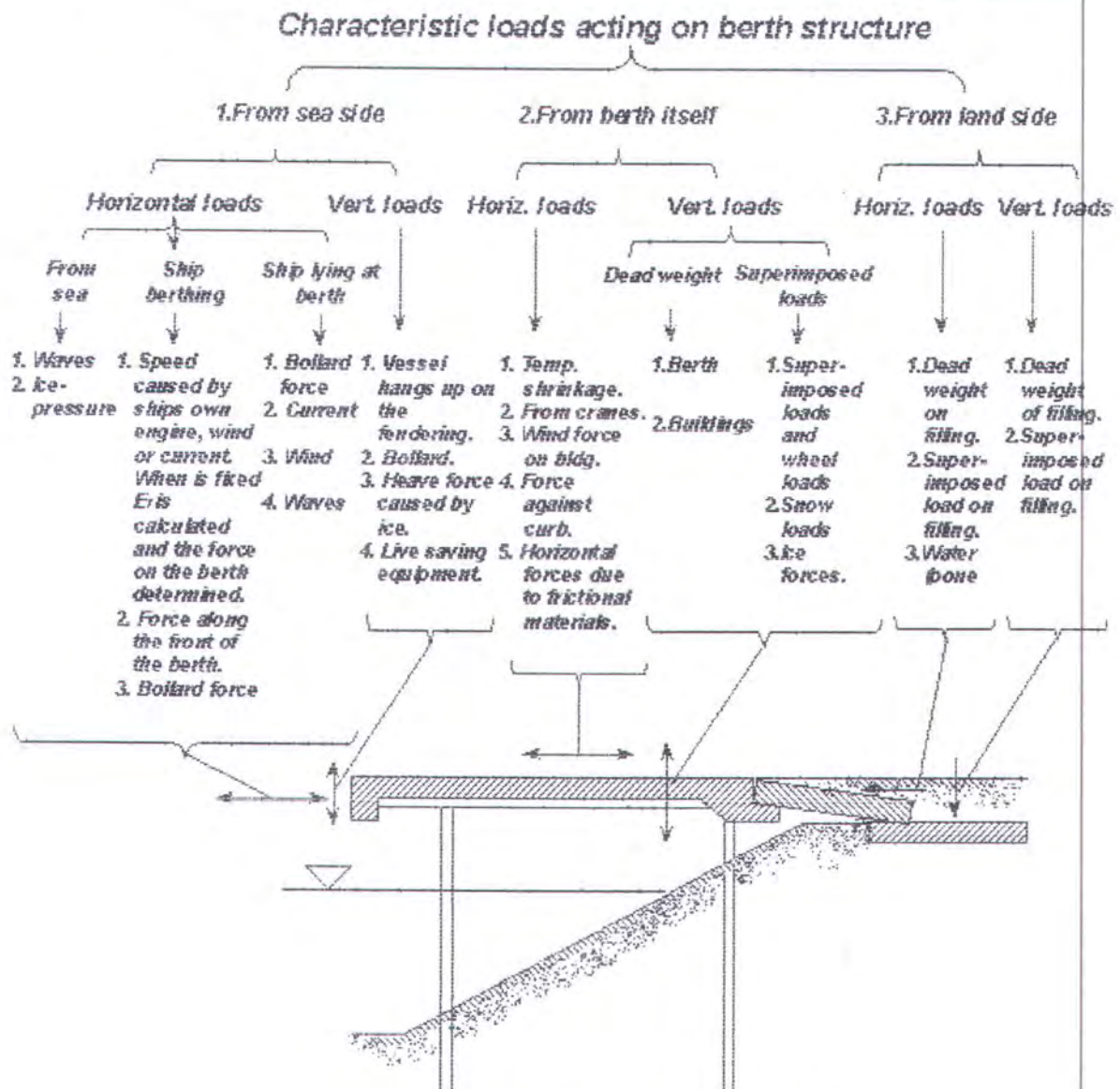
Total *underkeel clearance* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Apabila dasar kolam terdiri dari material-material lunak seperti (pasir, dll.), minimum *underkeel clearance* sebaiknya 0.5 m, dan untuk dasar yang lebih keras minimum *underkeel clearance* sebaiknya 1.0 m (Thoresen, 1988).



Gambar 2.2. Total underkeel clearance (Thoresen, 1988)

2.2.4 Beban-Beban pada Struktur Dermaga

Secara umum beban-beban yang bekerja pada struktur dermaga meliputi beban dari sisi laut (*sea side*), beban struktur dermaga sendiri (*berth itself*), dan beban dari sisi darat (*land side*), yang masing-masing terdistribusi secara vertikal dan horisontal. Karakteristik beban yang bekerja pada struktur dermaga ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Karakteristik beban pada struktur dermaga

2.2.4.1 Beban Tumbukan Kapal (*impact Load*)

Beban tumbukan kapal pada struktur dermaga, terdiri dari gaya tumbukan normal dan gaya gesekan terhadap *berthing face*. Berdasarkan sumber energi penggerakannya, beban tumbukan kapal dapat disebabkan oleh: kecepatan bersandar kapal, kecepatan angin pada badan kapal, dan kecepatan arus pada badan kapal. Bentuk, ukuran dan kecepatan kapal saat bersandar dan bermanuver, arah dan



tekanan arus, angin dan gelombang merupakan faktor yang selalu berpengaruh terhadap beban tumbukan kapal.

2.2.4.1.1 Beban Tumbukan karena Kecepatan Sandar Kapal

Secara teoritis beban tumbukan karena kecepatan sandar kapal pada struktur dermaga diberikan Thoresen (1988) dalam kN.m sebagai berikut :

$$E = 0.5 \cdot M_v \cdot V^2 = 0.5(M_d + M_h)V^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

M_v = virtual mass (ton) yang merupakan penjumlahan antara displacemen kapal M_d dan massa tambah kapal yang bergerak bersama kapal M_h .

V = kecepatan merapat kapal normal terhadap berth line (m/s).

Untuk perencanaan semua tipe struktur dermaga, displacemen kapal yang dijadikan acuan adalah displacemen kapal pada kondisi muatan penuh, kecuali untuk dermaga kapal export cargo, displacemen dan draft kapal dapat direduksi dari harga aktualnya namun tidak boleh kurang dari berat balast.

Dalam perencanaan struktur dermaga, energi yang diterima oleh sistem fender adalah (Thoresen, 1988):

$$E_f = C(0.5 \cdot M_d \cdot V^2) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

C = koefisien berthing

$$= C_H \cdot C_F \cdot C_C \cdot C_S \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

C_H = faktor massa tambah

$$= \frac{M_d + M_h \cdot C_{HR}}{M_d} = \frac{M_d + (1/4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot D^2 \cdot L) \cdot C_{HR}}{M_d} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$



$$= 1 + \frac{M_h \cdot C_{HR}}{M_d} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

ρ = specific gravity air laut (10,3 kN per m³)

D = sarat kapal (m)

L = panjang kapal (m)

C_{HR} = faktor reduksi akibat gerakan kapal yang membentuk sudut terhadap *berth line*. $C_{HR} = 1.0$ untuk arah gerakan kapal normal terhadap *berth line*. $C_{HR} = 0.1$ untuk arah gerakan kapal sejajar dengan *berth line*.

Menurut Professor F. Vasco Costa (Thoresen, 1988), apabila pola sandar kapal dari samping maka nilai C_H adalah :

$$C_H = 1 + \frac{2D}{B} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

D = sarat kapal (m),

B = lebar kapal (m),

dan apabila pola sandar kapal paralel dengan *berth line*, maka C_H dapat diabaikan, yakni $C_H = 1$.

Nilai eksak dari massa tambah sangat sulit diketahui dengan tepat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa massa tambah dipengaruhi oleh bentuk kapal, *underkeel clearance*, kecepatan kapal dan kedalaman perairan. Massa tambah biasanya antara 25 sampai 100% displacemen kapal. Dianjurkan untuk kedalaman air 1.5 kali sarat kapal atau lebih, C_H



dapat diambil 1.5, sedangkan untuk kedalaman air hanya 1.1 kali sarat kapal, C_H dapat dipakai 1.8.

C_E = eksentrisitas



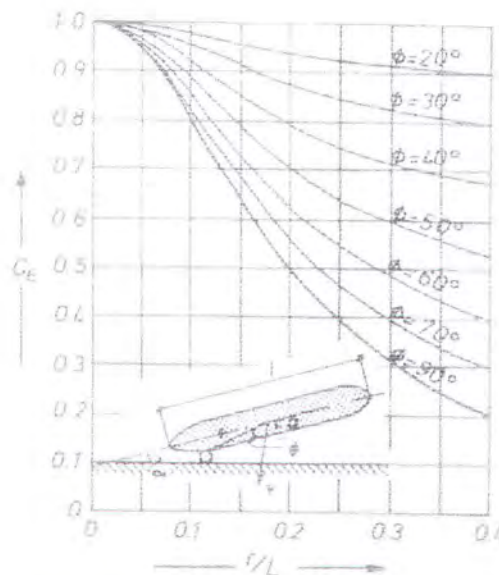
$$= \frac{i^2 + r^2 \cdot \cos^2 \phi}{i^2 + r^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

i = jari-jari inersia kapal, umumnya antara 0,2L sampai 0,25L.

r = jarak dari pusat massa kapal ke titik kontak pada dermaga.

Hubungan eksentrisitas C_E dengan sudut ϕ dan r/L seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Eksentrisitas C_E sebagai fungsi ϕ dan r/L

Apabila sudut $\phi = 90^0$, eksentrisitas C_E menjadi :

$$C_E = \frac{L}{L + \frac{r^2}{i^2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

C_E juga dipengaruhi oleh arah benturan kapal. Biasanya sudut sandar antara kapal dan *berth line*, berkisar antara 1^0 sampai 5^0 untuk kapal yang



bersandar dengan bantuan *tugboat*, dan antara 10 sampai 15⁰ untuk kapal yang bersandar tanpa bantuan *tugboat* dengan jarak antara *center of gravity* kapal dan titik tumbukan, *r*, antara 0.25 sampai 0.35*L*. Sehingga apabila sudut ϕ mendekati 90⁰, maka akan menghasilkan energi tumbukan yang kecil terhadap struktur dermaga. Untuk sistem fender menerus C_E umumnya diambil antara 0.5 sampai 0.6, dan untuk struktur dermaga dengan *individual breasting dolphin* C_E diambil antara 0.7 sampai 0.8. Apabila kapal datang dari sisi parallel terhadap muka dermaga yakni, $\alpha = 0^0$, perbandingan r/L juga mendekati 0, dan akan didapatkan energi tumbukan yang terbesar. Bagian atau panjang kapal yang membentur struktur juga lebih besar, sehingga energi yang diserap per meter panjang struktur dermaga dapat lebih kecil dari kasus sebelumnya.

$C_C =$ *water cushion effect* = 0.8 untuk dermaga tertutup dan 1.0 untuk dermaga terbuka.

$C_S =$ *softening effect* = 0.9 ~ 1.0 akibat deformasi yang terjadi antara kapal dan struktur dermaga.

2.2.4.1.2 Beban Tumbukan karena Kecepatan Angin pada Badan Kapal

Kapal yang ditambat pada struktur dermaga akan memberikan gaya atau beban angin sebesar :

$$P_w = C_w (A_w \sin^2 \phi + B_w \cos^2 \phi) \gamma_w \frac{V_w^2}{2g} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$= C_w (A_w \sin^2 \phi + B_w \cos^2 \phi) \frac{V_w^2}{1600} \dots\dots\dots (2.9.a)$$

$$= C_w (A_w \sin^2 \phi + B_w \cos^2 \phi) p \dots\dots\dots (2.9.b)$$



dengan :

P_w = gaya angin (kN)

C_w = koefisien gaya angin

A_w = proyeksi luasan samping dari kapal di atas air (m²)

B_w = luasan depan kapal di atas air (m²)

ϕ = arah angin terhadap centerline kapal

γ_w = berat spesifik udara = 0.01225 kN/m³.

V_w = kecepatan angin (m/sec)

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/sec²

p = tekanan angin (kN/m²)

Gaya angin maksimum pada persamaan di atas diperoleh ketika $\phi = 90^\circ$, yaitu ketika angin berhembus tegak lurus terhadap *centerline* kapal.

$$P_w = C_w \cdot A_w \cdot p \dots\dots\dots (2.10)$$

Harga C_w tergantung pada bentuk kapal di atas air, dan orientasi kapal terkait dengan arah angin. Untuk *isolated ship*, nilai C_w rata-rata yang direkomendasikan adalah: untuk arah angin memotong kapal $C_w = 1.3$, untuk arah angin dari depan kapal $C_w = 0.9$, dan untuk arah angin dari belakang $C_w = 0.8$.

Proyeksi bidang kapal di atas air yang tegak lurus arah angin cukup beragam, tidak hanya dipengaruhi oleh variasi ukuran kapal, tetapi juga oleh variasi jenis kapal, serta kondisi kapal sedang dimuati ataukah tidak.

Besar kecepatan angin V_w yang dipakai dalam perencanaan berbeda antara satu lokasi dengan lokasi yang lain. Dalam perencanaan sebaiknya digunakan kecepatan angin maksimum, bukan hanya kecepatan rata-rata dalam satu periode.



Kecepatan angin maksimum kira-kira 20% lebih tinggi dari kecepatan angin rata-rata. Pada kasus kapal yang ditambat, durasi hembusan harus mampu ditahan oleh seluruh fender, yang dihitung dari inersia kapal.

Untuk tujuan perencanaan, panduan dalam menentukan gaya angin diberikan pada Tabel 2.1. Untuk pier dimana kapal dapat merapat pada kedua sisinya, total gaya angin pada pier adalah gaya angin pada kapal terbesar, ditambah 50% dari gaya angin pada kapal pada sisi yang lain.

Tabel 2. 1. Beban angin untuk keperluan perencanaan (Thoresen, 1988)

Ships of displacement in tons up to	Wind load in kN per lin. m of ship
2000	10
5000	10
10000	15
20000	20
30000	20
50000	25
100000	30

2.2.4.1.3 Beban Tumbukan karena Kecepatan Arus pada Badan Kapal

Tekanan arus pada kapal yang bertambat dirumuskan sebagai berikut (Thoresen, 1988):

$$P_c = C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot \frac{V_c}{2g} \dots\dots\dots (2.11)$$



dengan :

P_c = gaya arus (kN)

C_c = koefisien gaya arus

γ_c = berat spesifik air - air laut 10.26 kN/m^3
- air tawar 10.34 kN/m^3

A_c = proyeksi luasan kapal di bawah air tegak lurus terhadap arah arus

V_c = kecepatan arus (m/sec^2)

g = percepatan gravitasi 9.81 m/sec^2

Nilai C_c tergantung pada lebar bidang badan kapal dan kedalaman air di depan struktur dermaga. Sebagai acuan penentuan harga C_c diberikan sebagai berikut (Thoresen, 1988) :

- Untuk arus yang bekerja tegak lurus terhadap kapal; C_c berkisar antara 1.0 s/d 1.5 untuk laut dalam, $C_c=2.0$ untuk kedalaman air = 2 x sarat kapal, $C_c = 3.0$ untuk kedalaman air = 1.5 x sarat kapal dan $C_c= 6.0$ untuk kedalaman yang mendekati sarat kapal.
- Untuk arus yang parallel terhadap kapal, C_c antara 0.2 s/d 0.6.

Apabila pola sandar kapal parallel dengan arus maka gaya karena arus tidak begitu berpengaruh pada perencanaan struktur dermaga (Quinn, 1972).

2.2.4.2 Beban Bollard

Kapal yang merapat pada sisi dermaga selalu dihentikan, sebagian dengan memutar balik propeller dan sebagian dengan tali tambat, sehingga total *design force* yang diteruskan ke struktur dermaga melalui *bollard* harus lebih kecil sama dengan kemampuan tali tambat (*spring hawser*). Tali tambat umumnya terbuat



dari kabel baja (*steel wire*), tali manila (*manila rope*), tali nilon, dan sebagainya, yang masing-masing memiliki kekuatan dan kekakuan yang berbeda.

Dalam banyak standar *port engineering*, kekuatan *bollard* minimal harus mampu menahan kapal dengan tonnase yang beragam. Jadi, dimensi dan kemampuan *bollard*, serta struktur dermaga harus didesain untuk kekuatan minimum. Interval atau jarak antar *bollard* sebaiknya antara 5 s/d 30 meter, tergantung pada ukuran kapal sepanjang dermaga. Kapasitas gaya *bollard*, P dan jarak spasi antar *bollard* diberikan pada Tabel 2.2.

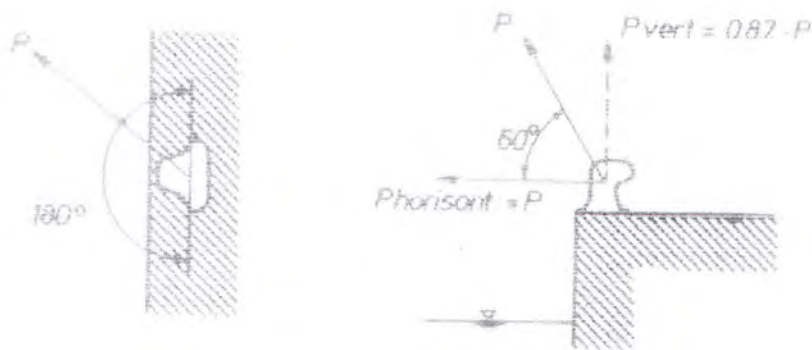
Tabel 2. 2. Gaya *bollard* dan pendekatan jarak antar *bollard* (Thoresen, 1988)

Ships of displacement In ton up to	Bollard load P , KN	Appr. Spacing, m	Bollard load from the berth kN per. lin m berth	Bollard load along the berth, kN per lin. m berth
2000	100	5-10	15	10
5000	200	10-15	15	10
10000	300	15	20	15
20000	500	20	25	20
30000	600	20	30	20
50000	800	20-25	35	20
100000	1000	25	40	25
200000	1500	30	50	30

Gaya *bollard* dianggap bekerja pada semua arah, dalam 180^0 pada sisi yang menghadap ke laut, dan secara horisontal 60^0 ke atas. Apabila struktur dermaga banyak yang ter-ekspose oleh angin dan arus, gaya *bollard* atas sebaiknya dinaikkan 25%. Apabila kapal dalam keadaan bertambat, *bollard* akan terbebani gaya vertikal sebesar $0.87 P$ seperti pada Gambar 2.5 (Thoresen, 1988).



Gaya-gaya pada struktur ketika kapal ditambat sudah termasuk tarikan *bollard* karena angin dan/atau arus yang mendorong kapal keluar dari dermaga. Gaya yang lain adalah tekanan horisontal karena angin dan arus yang membentur struktur dermaga, dan gaya vertikal yang diakibatkan gesekan kapal pada fender dalam gerakan vertikal.



Gambar 2. 5 Gambar arah gaya bollard (Thoresen, 1988)

2.2.4.3 Gaya Kapal Menggantung (*Ship Hanging*)

Pada saat kapal ditambat pada struktur dermaga, kapal dapat menggantung pada fender akibat adanya variasi pasang surut, ataupun menggesek fender selama loading dan unloading. Oleh karena itu, bagian depan struktur harus didesain untuk *up-and-down directed loads* sebagaimana diberikan pada pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Beban akibat kapal menggantung pada fender (Thoresen, 1988)

Ships of displacement in tons up to	Vertical up/down directed load in kN per lin.m of berth
2000	10
5000	15
10000	20
20000	20
30000	25
50000	25
100000	30



2.2.4.4 Beban Hidup (*Live Load*)

Adalah sangat sulit menyatakan beban hidup di atas apron atau *deck* sebagai fungsi dari ukuran kapal. Beban pada *deck* ditentukan oleh tipe trafik yang digunakan, dan tidak banyak yang merupakan fungsi dari ukuran kapal. Untuk dermaga khusus, seperti kapal tanker dengan berat sampai beberapa ratus ribu ton hanya memerlukan beban hidup 10 kN/m^2 . Pada kondisi yang lain, dermaga yang melayani akomodasi untuk *offshore oil industry* yang hanya 2000 ton displacemen kapal harus didesain untuk *liveload* antara 50 s/d 150 kN/m^2 . Untuk pelabuhan ikan, struktur dermaga didesain dengan *liveload* sedikitnya 15 kN/m^2 . Jelas bahwa besar beban hidup dipengaruhi oleh jenis muatan dan *handling equipment*, dll.

Untuk kebanyakan dermaga umum (*multi-purpose berths*) yang melayani *ocean-going handling cargo ships* sebaiknya juga didesain untuk beban kontainer. Kontainer sepanjang 20 ft tinggi 2 ft menghasilkan beban 25 s/d 25 kN/m^2 , tergantung pada muatan yang dimuatnya. Berat kosong kontainer ukuran $6.06 \times 2.44 \times 2.44 \text{ m}$ dan $12.12 \times 2.44 \times 2.44$, masing-masing 19 sampai 22 kN, sedangkan berat maksimum yang diijinkan menurut ISO adalah 240 kN. Untuk kontainer 40ft berat kosong antara 28 sampai 36 kN, berat maksimumnya 350 kN.

Menurut Quinn (1972), beban merata pada *deck* berkisar antara 1.22 s/d 4.88 ton/m^2 luasan *deck*. Beban terkecil diberikan untuk dermaga minyak dan struktur sejenis yang menggunakan ban berjalan atau pipeline, urutan berikutnya adalah untuk general cargo. Untuk *general cargo piers*, *live loads* terbesar berkisar antara 600 s/d 800 lb/ft^2 ($2.93 \text{ s/d } 3.91 \text{ ton/m}^2$). Piers untuk muatan berat seperti biji besi dan kontainer direncanakan sebesar 1000 lb/ft^2 (4.88 ton/m^2) atau lebih. Beban



merata akan menentukan desain *pile* dan *pilecap*, dimana beban roda terkonsentrasi, termasuk impact akan menentukan desain pelat dan balok. Reduksi 33,33 % terkadang diberikan pada beban merata pada perhitungan *pile loads*, perencanaan *pile caps* dan balok-balok. Ini didasarkan pada asumsi bahwa seluruh luasan deck tidak akan terbebani penuh pada saat bersamaan.

2.2.5 Tiang Pancang (Pile)

Tiang pancang merupakan bagian penting dari struktur dermaga terbuka. Beberapa jenis tiang pancang yang sering digunakan diberikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Beberapa jenis tiang pancang (Kramadibrata, 1985)

Jenis Tiang Pancang	Panjang Maksimum (m)	Beban maks. yang dapat dipikul (Ton)
1. Kayu	16.00	30
2. Beton cor (<i>cast in situ</i>)	18.00	60
3. Pipa baja (tanpa diisi beton)	25.00	50
4. Tiang beton pra cetak.	25.00	80
5. Pipa baja diisi beton.	30.00	80
6. Baja H	30.00	100
7. Tiang beton pipa pratekan.	40.00	120

Pada kontruksi pelabuhan umumnya pile berfungsi menyangga beban-beban vertikal (beban merata dan terpusat) dan beban-beban horisontal pada tipe dermaga terbuka. Tiang tersebut merupakan kolom panjang, biasanya dengan pembebanan sentris. Beban-beban horisontal yang dipikul dermaga diteruskan untuk kemudian dipikul tiang-tiang miring (*batter piles*). Untuk beban-beban horisontal yang relatif kecil dapat diperhitungkan untuk dipikul tiang-tiang vertikal.



Sebagai tiang yang berfungsi kolom panjang, maka ujung-ujung tiang mempunyai kondisi-kondisi ikat tertentu, yaitu dapat berfungsi sebagai sendi atau terjepit yang mempengaruhi daya pikul tiang. Ujung-ujung tiang dianggap bekerja sebagai sendi apabila tiang dimungkinkan berputar bila dermaga dimuati. Hal ini dapat terjadi bila konstruksi balok dan lantai dermaga merupakan konstruksi ringan.

Ujung bawah tiang berfungsi sebagai sendi apabila karakteristik tanah pemikul merupakan tanah lembek atau lempung. Ujung tiang atas (kepala tiang) dianggap sebagai terjepit apabila konstruksi balok-balok dan lantai dermaga merupakan konstruksi berat dan ikatannya sedemikian sehingga hubungan antara tiang dan balok atau lantai tersebut dibuat dengan ikatan yang menjamin adanya kekakuan. Ujung tiang di bawah dianggap dalam keadaan terjepit bila karakteristik tanah berjenis padat, seperti pada pasir padat, lempung keras. Tiang harus dipancangkan pada kedalaman di bawah titik jepit (*point of fixity*).

2.2.5.1 Panjang Jepitan Kritis Tanah Terhadap Pile

Kedalaman atau panjang kritis dari ujung tiang yang harus terjepit di dalam tanah, dapat ditentukan dengan metoda dari PHILIPPONAT sebagai berikut (Wahyudi, 1998):

Kondisi 1 : Kedalaman minimal penjepitan tanah terhadap tiang pondasi (D_{min}),

diperoleh dari harga yang terbesar dari harga-harga berikut :

- *Monolayer* = 3 m atau 6 kali diameter
- *Multilayers* = 1.5 m atau 3 kali diameter

(perkecualian : tiang-tiang yang menumpu langsung di atas batuan)

Untuk tanah berkohesi, kondisi ini adalah cukup sesuai.



Kondisi 2 : Kedalaman atau panjang penjepitan tanah yang diperlukan untuk memobilisasi tegangan titik di dasar tiang (q_p) didapat dengan perumusan dari FORAY dan PUECH (Wahyudi, 1998):

$$\frac{D_c}{\sqrt{B}} = 25 \left(1 + \frac{q_p}{10} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan q_p dalam Mpa (dari hasil test CPT, SPT, dll), B dan D_c dalam cm. Perumusan tersebut berlaku untuk sudut geser dalam Φ yang tinggi, disisi lain, adanya air tanah dapat menaikkan harga D_c .

2.2.5.2 Letak Titik Jepit Tanah Terhadap Tiang Pondasi

Ada beberapa metoda untuk mencari letak *point of fixity* atau posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang pondasi (z_f), diantaranya dengan perumusan sebagai berikut (Thomlinson, 1977):

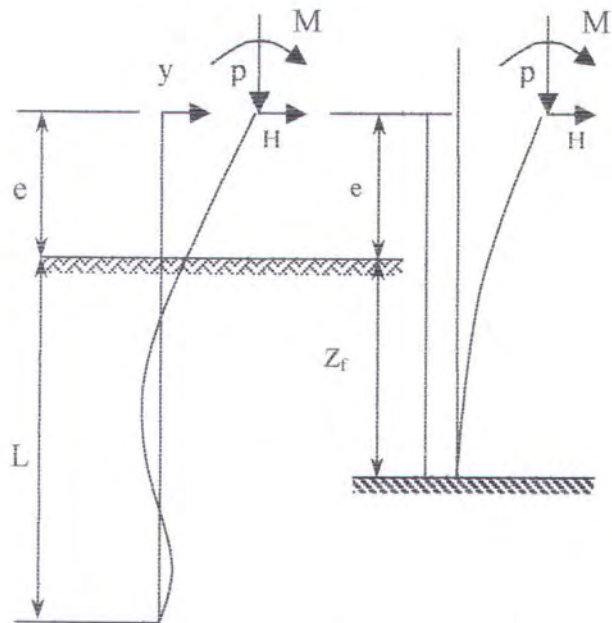
Untuk *stiff over-consolidated clay*

$$z_f = 1.4 R \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk *normally-consolidated clay* dan *granular soil*, atau yang mempunyai kenaikan linear harga modulus

$$z_f = 1.8 T \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan R dan T adalah *stiffness factor* berturut-turut untuk tanah *overconsolidated* dan *normally consolidated*.



Gambar 2. 6 Partly-embeded pile & equivalent fixed base pile or column

Harga-harga *stiffness factor* R dan T dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

- Untuk *overconsolidated clay* :

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{KB}} \quad (\text{dalam satuan panjang}) \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

- K = $k_1/1.5$
- k_1 = *Terzaghi's subgrade modulus* k_1 , dapat diambil dari Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Terzaghi's subgrade modulus k_1 untuk over consolidated clay

Consistency		Stiff	Very stiff	Hard
C_u	kN/m^2	100 - 200	200 - 400	> 400
	Tons/ft^2	1 - 2	2 - 4	> 4
Range of k_1	MN/m^3	18 - 36	36 - 72	> 72
	Tons/ft^3	50 - 100	100 - 200	> 200
Range of k_1	MN/m^3	27	54	> 108
	Tons/ft^3	75	150	> 300



2.2.6 Fender

Fender berfungsi sebagai bantalan yang ditempatkan di depan dermaga. Fender akan menyerap energi benturan antara kapal dan dermaga. Gaya yang harus ditahan oleh dermaga tergantung pada tipe dan konstruksi fender serta defleksi dermaga yang diijinkan. Selain itu, fender bertujuan untuk melindungi rusaknya cat badan kapal karena gesekan antara kapal dan dermaga yang disebabkan oleh gerak kapal karena gelombang, arus dan angin. Fender harus dipasang disepanjang dermaga dan letaknya harus sedemikian rupa sehingga dapat mengenai kapal. Oleh karena kapal mempunyai ukuran yang berlainan maka fender harus dibuat agak tinggi pada sisi dermaga. Beberapa tipe fender antara lain fender kayu, fender karet, dan fender gravitas. Diantara ketiga tipe fender, fender karet banyak digunakan. Bentuk paling sederhana dari tipe ini berupa ban luar mobil yang dipasang pada sisi depan sepanjang dermaga. Fender ban mobil ini digunakan untuk untuk kapal-kapal kecil.

Fender karet mempunyai bentuk bervariasi, seperti fender tabung silinder dan segiempat, blok karet berbentuk segiempat, dan fender Raykin. Fender tabung yang digantung secara melengkung pada dermaga dengan menggunakan rantai disebut dengan *draped fender*. Fender tabung cocok untuk dermaga tipe tertutup seperti sel turap baja dengan dinding beton di atasnya, dinding beton massa, atau pada *breasting dolphin* dengan platform beton yang besar. Untuk menahan energi benturan yang lebih besar biasanya digunakan fender karet seibu tipe V dan H yang dapat dipasang sendiri atau dua fender seibu menjadi satu. Pada Gambar 2.

“Jadilah kalian sebagai sumber mata air ilmu, lampu-lampu (cahaya) petunjuk, yang menetap di rumah-rumah, pelita di waktu malam yang hatinya selalu baru, dan yang kusut pakaiannya. (Jadilah kalian) orang yang dikenal oleh penduduk langit, tetapi tersembunyi dari penduduk bumi.” (Ibnu Mas’ud r.a.)

BAB III METODOLOGI DAN SISTEMATIKA PENULISAN



BAB III

METODOLOGI DAN SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mencapai tujuan-tujuan dari tugas akhir, akan digunakan metodologi sebagai berikut :

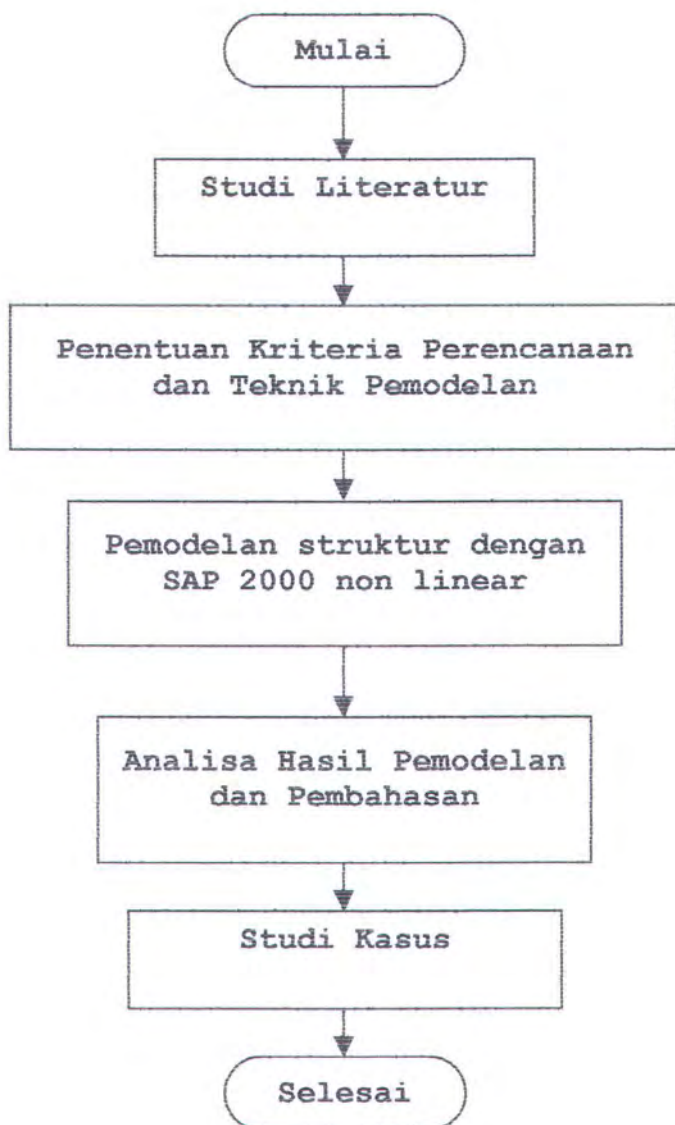
1. Studi literatur, bertujuan mendapatkan informasi-informasi sebagai acuan dalam melakukan studi. Adapun hal-hal yang akan dicari dalam studi literatur antara lain:
 - Informasi tentang tipe-tipe struktur dermaga berikut karakteristiknya.
 - Informasi tentang beban-beban rencana beserta cara mendapatkannya.
 - Informasi-informasi tentang material dan profil yang akan digunakan.
 - Informasi tentang perencanaan struktur dermaga terbuka.
2. Penentuan kriteria studi, yaitu sebagai dasar dan parameter keberhasilan dari studi yang dilakukan. Adapun kriteria studi yang dimaksud antara lain :
 - Penentuan kapal rencana
 - Penentuan bentuk dan tata letak
 - Penentuan beban-beban rencana beserta posisinya.
 - Penentuan material material rencana.
 - Penentuan kombinasi pembebanan.
 - Penentuan fender yang digunakan.



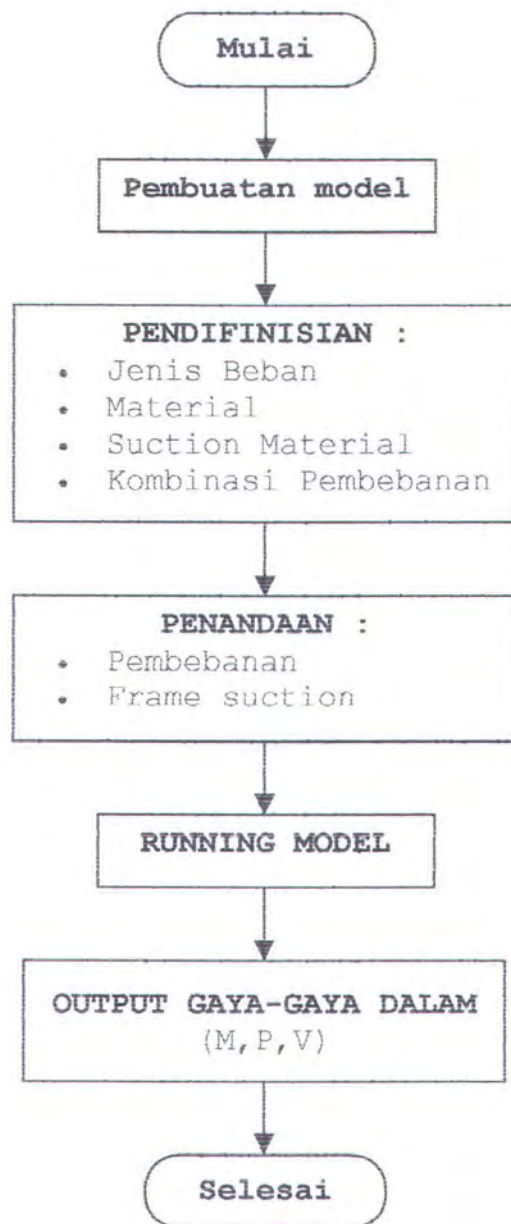
3. Pemodelan struktur dan perhitungan gaya-gaya dalam dengan bantuan SAP 2000 non linear.
4. Analisis hasil pemodelan, yang meliputi pembuatan *chart* atau grafik variabel perencanaan, dan pembuatan pola dari masing-masing *chart*. Kemudian dilakukan pembahasan.
5. Studi kasus, yaitu apabila hasil studi diterapkan pada suatu lokasi.
6. Menarik kesimpulan dari keseluruhan studi yang telah dilakukan.

Dari metodologi tersebut kemudian disusun suatu laporan tugas akhir dengan sistematika sebagai berikut :

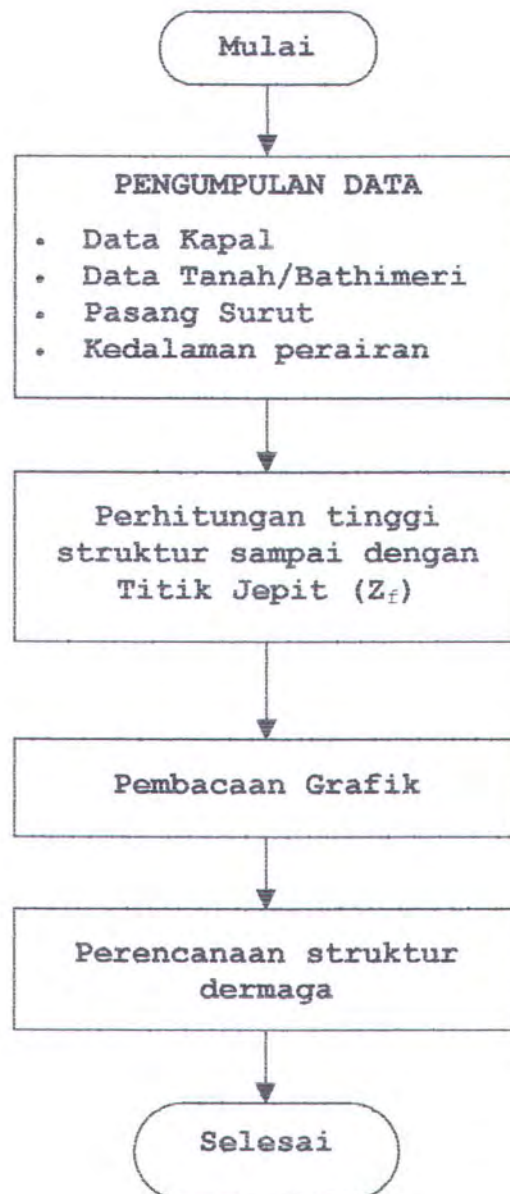
- Bab I berisi tentang pendahuluan, dimana didalamnya berisi latar belakang, tujuan, manfaat, dan batasan masalah.
- Bab II berisi tentang tinjauan terhadap pustaka yang berhubungan dengan studi, dan teori-teori yang dijadikan dasar dalam melakukan studi.
- Bab III berisi metodologi yang dipakai dalam pencapaian tujuan tugas akhir, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.
- Bab IV berisi tentang kriteria-kriteria yang dipakai dalam studi dan teknik pemodelan.
- Bab V berisi analisa dan pembahasan terhadap hasil-hasil pemodelan dan permasalahan tugas akhir.
- Bab VI berisi studi kasus penggunaan grafik perencanaan untuk merencanakan struktur dermaga terbuka di Pelabuhan Probolinggo.
- Kesimpulan dan saran.
- Lampiran-lampiran



Gambar 3. 1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir



Gambar 3. 2 Diagram alir pemodelan struktur dermaga terbuka dengan SAP 2000 non linear



Gambar 3. 3 Diagram alir studi kasus

“Sesungguhnya Allah telah membeli dari orang-orang mukmin, diri dan harta mereka dengan memberikan surga untuk mereka. Mereka berperang pada jalan Allah, lalu mereka membunuh atau terbunuh. (itu telah menjadi) janji yang benar dari Allah di dalam Taurat, Injil dan Al-Quran. Dan siapakah yang lebih menepati janjinya (selain) daripada Allah? Maka bergembiralah dengan jual beli yang telah kamu lakukan itu, dan itulah kemenangan yang besar.” (QS.At-Taubah, 9: 111)

BAB IV

KRITERIA PERENCANAAN DAN TEKNIK PEMODELAN



BAB IV

KRITERIA PERENCANAAN DAN TEKNIK PEMODELAN

4.1 Kriteria Perencanaan

4.1.1 Kriteria Kapal Rencana

Perencanaan struktur dermaga umumnya ditentukan oleh jenis dan ukuran kapal yang akan menggunakannya, yang selanjutnya disebut kapal rencana. Adapun kapal rencana yang ditinjau pada studi tugas akhir adalah kapal jenis *general cargo*, dengan bobot antara 700 sampai 20000 DWT. Data kapal diambil dari **Seibu Rubber Dock Fender Catalog, technical edition** (Tsinker, 1986), yang selanjutnya dijadikan kapal rencana (Tabel 4.1).

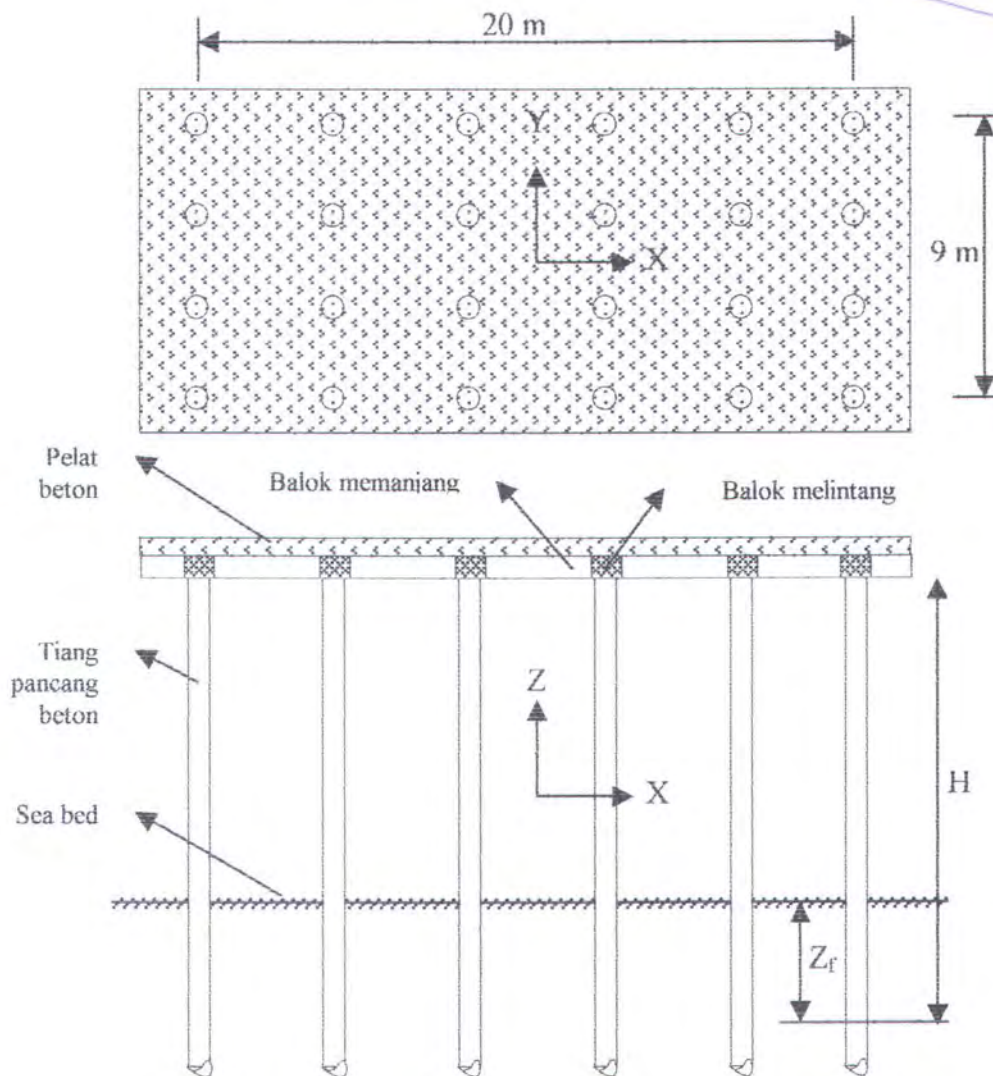
Tabel 4. 1. Data kapal rencana (Tsinker, 1986)

DWT (t)	Length (m)	Width (m)	Depth (m)	Full Loaded Draft (m)	Displacement (ton)
700	52	8.3	3.8	3.6	900
1000	60	9.3	4.4	4.1	1300
2000	77	11.5	5.8	5.1	2700
3000	90	13.1	6.8	5.7	4000
4000	100	14.3	7.7	6.3	5300
5000	109	15.3	8.4	6.7	6700
6000	117	16.2	9.0	7.1	8000
7000	124	17.0	9.6	7.5	9300
8000	130	17.7	10.1	7.8	10700
9000	136	18.4	10.6	8.1	12000
10000	142	19.0	11.1	8.3	13300
12000	152	20.1	11.9	8.8	16000
15000	165	21.6	13.0	9.5	20000
17000	173	22.4	13.7	9.8	22700
20000	184	23.6	14.6	10.3	26700



4.1.2 Bentuk dan Tata Letak Struktur Dermaga

Struktur dermaga yang ditinjau adalah tipe dermaga terbuka (*open berth*). Struktur dimodelkan sebagai *space frame* dengan **SAP 2000 non linear**, di mana balok memanjang dan melintang disangga oleh tiang pancang vertikal (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Sket model struktur dermaga terbuka

Dimensi dermaga ditinjau satu pias dermaga, dengan panjang 20m dan lebar 9m. Jarak antar pile arah memanjang 4m, arah melintang 3m. Titik tangkap gaya pada boulder dan fender terletak pada perpotongan balok memanjang dan melintang



dengan ujung tiang bagian atas pada *berth front*. Pada bagian bawah, tiang pancang ditinjau sampai dengan titik jepit (*point of fixity*). Tinggi dermaga merupakan variasi dari sarat maksimum kapal, pasang surut dan kondisi tanah dasar.

4.1.3 Material Rencana

Material yang ditinjau dalam studi adalah struktur beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tiang pancang dari beton *precast prestress* produksi P.T. Wijaya Karya (WIKI).
- Balok memanjang dan melintang dari beton bertulang *cast in situ*, dimana perencanaan balok mengacu pada SK SNI T-15-1991-03.

4.1.4 Kriteria Beban Rencana

Beban-beban yang diperhitungkan adalah beban pada kondisi awal (*initial condition*), yang meliputi: *dead load*, *live load*, *impact load* akibat kecepatan sandar kapal, *impact load* akibat kecepatan angin, *impact load* akibat kecepatan arus, *bollard load*, serta *ship hanging load*.

4.1.4.1 Beban Mati

Beban mati secara umum tetap dan konstan selama waktu hidup konstruksi, berasal dari struktur pelat, balok, tiang pancang, poer dan bangunan di atasnya. Sebagai acuan studi, beban mati yang ditinjau adalah beban mati yang berupa berat konstruksi dari struktur acuan.



4.1.4.2 Beban Hidup

Beban hidup bekerja secara vertikal pada *deck*. Beban hidup yang ditinjau adalah beban hidup maksimum untuk kapal *general cargo*, sebesar 800 lb/ft² atau 38.304 kN/m² (Quinn, 1972)

4.1.4.3 Impact Load Akibat Kecepatan Sandar Kapal

Impact load dihitung berdasarkan data kapal rencana, dengan menggunakan perumusan yang diberikan oleh Thoresen (1988), untuk setiap kapal rencana.

4.1.4.4 Impact Load Akibat Kec. Angin pada Badan Kapal

Beban *impact* akibat kecepatan angin pada badan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan arah dari mana angin berhembus, yang besarnya bervariasi antara tempat yang berbeda. Untuk itu, beban *impact* akibat kecepatan angin pada badan kapal, dihitung dari pola beban angin rencana yang diberikan Thoresen (1988).

4.1.4.5 Impact Load Akibat Kec. Arus pada Badan Kapal

Beban *impact* akibat arus pada badan kapal dihitung dengan menggunakan perumusan yang diberikan Thoresen (1988), untuk setiap data kapal rencana. Beban *impact* akibat arus pada badan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan proyeksi luasan kapal di bawah air tegak lurus arah arus, yang berbeda kasus per kasus. Oleh sebab itu dalam studi diambil arah arus yang menghasilkan beban terbesar, yaitu arah sisi kapal dengan kecepatan arus tegak lurus sisi kapal diasumsikan 0.5 m/det.



4.1.4.6 Beban Tarikan pada Bolder

Beban tarikan pada *bolder* mengacu pada pola beban tarikan bolder rencana yang diberikan Thoresen (1988). Pola beban rencana tersebut kemudian digunakan untuk menentukan beban tarikan bolder rencana untuk setiap kapal rencana.

4.1.4.7 Ship Hanging Load

Beban akibat kapal menggantung pada dermaga mengacu pada pola beban rencana *ship hanging load* yang diberikan Thoresen (1988). Berdasarkan pola beban tersebut, kemudian ditentukan beban *ship hanging* rencana untuk setiap DWT kapal yang ditinjau.

4.1.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang ditinjau pada struktur adalah sebagai berikut :

1. $DL + LL$
2. $DL + LL + ILV$
3. $DL + LL + ILV + ILC + ILW$
4. $DL + LL + BL$
5. $DL + LL + ILC + ILW + HL$

dengan :

- DL = *Dead load* (beban mati atau berat struktur sendiri)
- LL = *Live load* (beban hidup yang bekerja di atas struktur)
- ILV = *Impact load do to berthing velocity*
- ILW = *Impact load do to wind*
- ILC = *Impact load do to current*



BL = *Bollard load* (beban akibat tarikan kapal pada boulder)

HL = *Hanging load* (beban akibat kapal menggantung pada dermaga)

4.1.6 Fender Rencana

Untuk melindungi badan kapal dan struktur dermaga dari kerusakan akibat gaya-gaya yang bekerja di antara keduanya, maka pada *berth front* perlu dipasang fender. Adapun fender yang dijadikan acuan dalam studi adalah fender karet tipe V, yang direncanakan untuk beban tumbukan kapal rencana 20000 DWT.

4.2 Teknik Pemodelan

4.2.1 Perhitungan Beban Rencana

4.2.1.1 Impact Load Akibat Kecepatan Sandar Kapal

Impact Load akibat kecepatan kapal merapat dihitung berdasarkan data kapal rencana dengan menggunakan Persamaan (2.2) sampai (2.8). Dengan asumsi kapal membentur dermaga tanpa bantuan *tug boat*, membentuk sudut 10° terhadap *berth line*, maka faktor reduksi akibat gerakan kapal, $C_{HR} = 0.25$. Sedangkan koefisien-koefisien C_E , C_C , dan C_S berturut-turut diambil 0.6, 1.0, dan 1.0. Sehingga dengan mengambil kecepatan sandar 0.3 m/det, maka energi yang diterima fender E_f dihitung pada Tabel 4.2. Apabila beban tumbukan karena kecepatan sandar kapal didasarkan pada *accidental condition* maka E_f masih harus dikalikan *safety factor* $SF=1.25$ (Thoresen, 1988).



Tabel 4. 2 Perhitungan *impact load* akibat kec. sandar kapal

DWT (ton)	L (m)	Full Loaded Draft (m)	M _d (ton)	M _H (ton)	C _H	i (m)	r (m)	C _e	C	E _f (kN.m)	E _f with SF=1.25 (kN.m)
700	52	3.6	900	543	1.151	13.00	18.20	0.36	0.412	16.7	20.84
1000	60	4.1	1300	812	1.156	15.00	21.00	0.36	0.414	24.2	30.25
2000	77	5.1	2700	1612	1.149	19.25	26.95	0.36	0.411	50.0	62.45
3000	90	5.7	4000	2354	1.147	22.50	31.50	0.36	0.410	73.9	92.35
4000	100	6.3	5300	3195	1.151	25.00	35.00	0.36	0.412	98.2	122.75
5000	109	6.7	6700	3939	1.147	27.25	38.15	0.36	0.410	123.7	154.67
6000	117	7.1	8000	4748	1.148	29.25	40.95	0.36	0.411	147.9	184.90
7000	124	7.5	9300	5615	1.151	31.00	43.40	0.36	0.412	172.3	215.43
8000	130	7.8	10700	6367	1.149	32.50	45.50	0.36	0.411	197.9	247.39
9000	136	8.1	12000	7183	1.150	34.00	47.60	0.36	0.411	222.1	277.66
10000	142	8.3	13300	7875	1.148	35.50	49.70	0.36	0.411	245.8	307.31
12000	152	8.8	16000	9476	1.148	38.00	53.20	0.36	0.411	295.8	369.70
15000	165	9.5	20000	11988	1.150	41.25	57.75	0.36	0.411	370.3	462.85
17000	173	9.8	22700	13376	1.147	43.25	60.55	0.36	0.411	419.3	524.17
20000	184	10.3	26700	15715	1.147	46.00	64.40	0.36	0.410	493.2	616.45

4.2.1.2 Impact Load Akibat Kec.Angin Pada Badan Kapal

Dengan mengambil panjang daerah kontak antara kapal dengan fender L_{sf} untuk *general cargo* 70 % panjang kapal L_s (Thoresen, 1988), maka beban angin rencana (Tabel 2.1) dikonversi dari kN/m panjang kapal menjadi kN/m panjang dermaga pada Tabel 4.3.

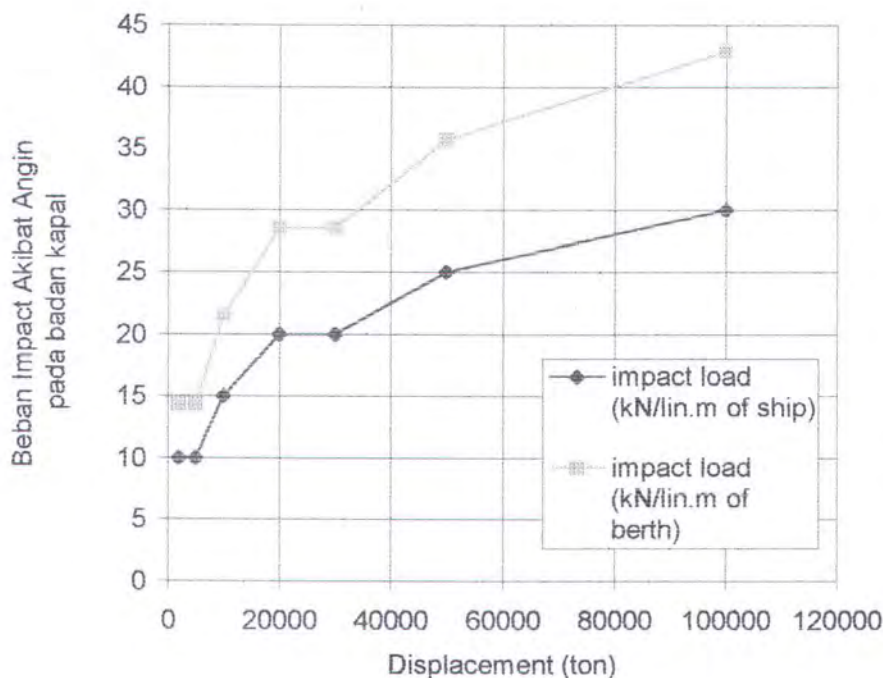
Tabel 4. 3 Impact load rencana akibat kecepatan angin pada badan kapal

Displ. Kapal (ton)	Beban Angin (kN/lin.m of ship)	Beban Angin (kN/lin.m of berth)
2000	10	14.29
5000	10	14.29
10000	15	21.43
20000	20	28.57
30000	20	28.57
50000	25	35.71
100000	30	42.86



Dari Tabel 4.3, kemudian data diplot kedalam grafik (Gambar 4.2) sehingga diperoleh persamaan beban impact karena angin dalam kN/m dermaga sebagai berikut :

- Untuk 2000 sampai 5000 ton displasemen $\rightarrow y = 14.29$
- Untuk 5000 sampai 10000 ton displasemen $\rightarrow y = 0.0014x + 7.1429$
- Untuk 10000 sampai 20000 ton displasemen $\rightarrow y = 0.0007x + 14.286$
- Untuk 20000 sampai 30000 ton displasemen $\rightarrow y = 28.57$
- Untuk 30000 sampai 50000 ton displasemen $\rightarrow y = 0.0004x + 17.857$
- Untuk 50000 sampai 100000 ton displasemen $\rightarrow y = 0.0001x + 28.571$



Gambar 4. 2 Grafik impact load akibat kec. angin pada badan kapal

Sehingga apabila digunakan jarak antar fender 4 m, maka beban *impact* akibat kecepatan angin pada badan kapal yang diterima fender, untuk setiap DWT kapal dihitung sebagai berikut :



Tabel 4. 4 *Impact load* akibat kec. angin pada badan kapal ke setiap fender

DWT (ton)	Displacement (ton)	Impact load due to wind to the ship (kN/lin.m of berth)	Impact load akibat angin pada setiap fender (kN)
700	900	14.29	57.16
1000	1300	14.29	57.16
2000	2700	14.29	57.16
3000	4000	14.29	57.16
4000	5300	14.56	58.25
5000	6700	16.52	66.09
6000	8000	18.34	73.37
7000	9300	20.16	80.65
8000	10700	21.78	87.10
9000	12000	22.69	90.74
10000	13300	23.60	94.38
12000	16000	25.49	101.94
15000	20000	28.57	114.28
17000	22700	28.57	114.28
20000	26700	28.57	114.28

4.2.1.3 Impact Load Karena Arus Pada Badan Kapal

Beban arus dihitung berdasarkan data kapal rencana menggunakan Persamaan 2.5. Dengan mengambil kecepatan arus arah sisi kapal $V_c = 0.5$ m/sec., dan koefisien arus $C_C = 6$, maka tekanan arus pada badan kapal untuk setiap DWT kapal rencana ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perhitungan beban impact akibat arus dari sisi kapal

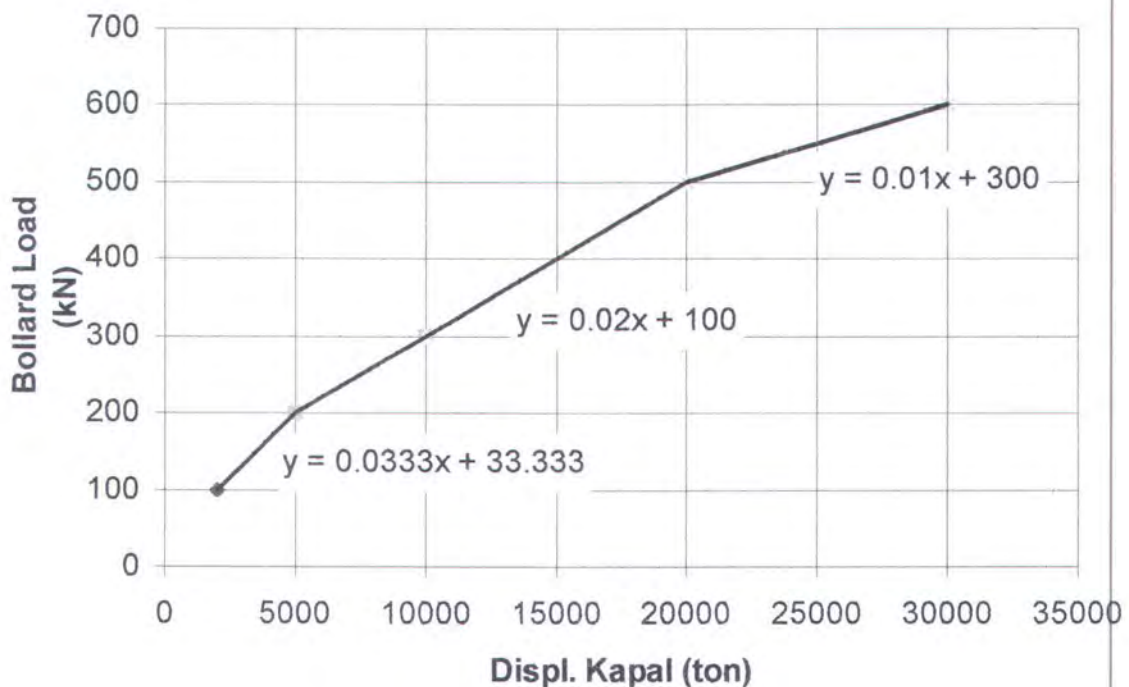
DWT (ton)	Length (m)	Full Loaded Draft (m)	Displ. (ton)	Current Pressure (kN)	Impact load akibat arus (kN/lin.m of berth)	Impact load akibat arus pada setiap fender (kN)
700	52	3.6	900	293.7	8.07	32.27
1000	60	4.1	1300	385.9	9.19	36.75
2000	77	5.1	2700	616.1	11.43	45.72
3000	90	5.7	4000	804.8	12.77	51.10
4000	100	6.3	5300	988.3	14.12	56.48
5000	109	6.7	6700	1145.7	15.02	60.06
6000	117	7.1	8000	1303.2	15.91	63.65
7000	124	7.5	9300	1459.0	16.81	67.23
8000	130	7.8	10700	1590.8	17.48	69.92



9000	136	8.1	12000	1728.2	18.15	72.61
10000	142	8.3	13300	1849.0	18.60	74.41
12000	152	8.8	16000	2098.4	19.72	78.89
15000	165	9.5	20000	2459.1	21.29	85.16
17000	173	9.8	22700	2659.8	21.96	87.85
20000	184	10.3	26700	2973.2	23.08	92.34

4.2.1.4 Bollard Load

Beban tarikan pada bolder dihitung berdasarkan *bollard load* rencana dari Thoresen (1988) pada Tabel 2.1. Tabel 2.1 diplot sehingga didapatkan grafik dan pola beban tarikan pada bolder seperti pada Gambar 4.3. Dari pola beban tarikan pada bolder yang didapat, kemudian dihitung beban tarikan bolder untuk setiap DWT kapal rencana.



Gambar 4. 3 Grafik beban tarikan pada bolder (Thoresen, 1988)



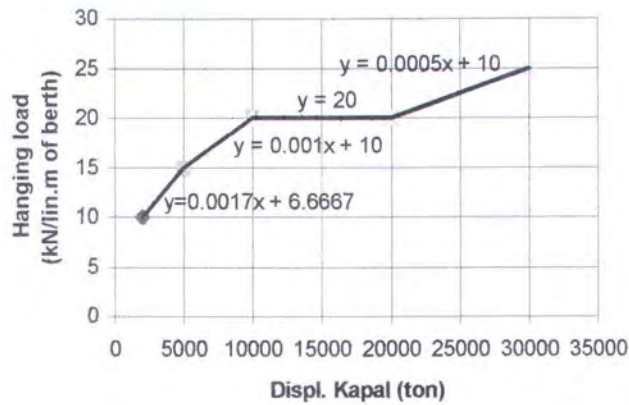
Apabila kapal dalam keadaan bertambat, maka bolder akan terbebani gaya vertikal sebesar 0.87 P, sehingga perhitungan beban tarikan pada bolder untuk setiap DWT kapal rencana dalam arah Y dan Z diberikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Beban tarikan kapal pada bolder

DWT (t)	Displacement (ton)	Bollard Load (kN)		
		Total	Y	Z
700	900	100	100.00	87.00
1000	1300	100	100.00	87.00
2000	2700	123	123.24	107.22
3000	4000	167	166.53	144.88
4000	5300	206	206.00	179.22
5000	6700	234	234.00	203.58
6000	8000	260	260.00	226.20
7000	9300	286	286.00	248.82
8000	10700	314	314.00	273.18
9000	12000	340	340.00	295.80
10000	13300	366	366.00	318.42
12000	16000	420	420.00	365.40
15000	20000	500	500.00	435.00
17000	22700	527	527.00	458.49
20000	26700	567	567.00	493.29

4.2.1.5 Ship Hanging Load

Beban kapal menggantung dihitung berdasarkan *ship hanging load* rencana pada Tabel 2.3. Dari Tabel 2.3 kemudian diplot sehingga didapatkan grafik dan pola beban kapal menggantung per linear meter panjang dermaga (Gambar 4.3).



Gambar 4. 4 Grafik beban kapal menggantung (Thoresen, 1988)

Dari pola beban kapal menggantung yang didapat (Gambar 4.3), kemudian ditentukan beban *ship hanging* rencana untuk setiap DWT kapal rencana pada setiap fender (Tabel 4.7).

Tabel 4. 7 Perhitungan ship hanging load

DWT (t)	Displ. (ton)	Ship Hanging Load (kN/lin.m of berth)	Ship Hanging Load pada setiap fender (kN)
700	900	10.0	40.00
1000	1300	10.0	40.00
2000	2700	11.3	45.03
3000	4000	13.5	53.87
4000	5300	15.3	61.20
5000	6700	16.7	66.80
6000	8000	18.0	72.00
7000	9300	19.3	77.20
8000	10700	20.0	80.00
9000	12000	20.0	80.00
10000	13300	20.0	80.00
12000	16000	20.0	80.00
15000	20000	20.0	80.00
17000	22700	21.4	85.40
20000	26700	23.4	93.40

4.2.1.6 Beban hidup

Beban hidup ditentukan 800 lb/ft^2 atau 38.304 kN/m^2 , yang merupakan beban hidup terbesar yang diberikan Quinn (1988) untuk jenis kapal *general cargo*.



4.2.2 Penentuan Titik Jepit

Perhitungan titik jepit bertujuan untuk mengetahui posisi titik jepit di bawah tanah dasar untuk setiap jenis tanah, serta membuat variasi tinggi model struktur dermaga. Dengan persamaan-persamaan pada Sub-Bab 2.2.4.2, dilakukan perhitungan titik jepit untuk setiap jenis tanah. Perhitungan titik jepit untuk *Over-Consolidated Clay* diberikan oleh Tabel 4.9. Sedangkan perhitungan titik jepit untuk *Normally-Consolidated Clay* diberikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 8 Perhitungan letak titik jept untuk Over Consolidated Clay

Over-Consolidated Clay	EI (kN.m)	k_f (kN/m ³)	K	B (m)	R	Z_f (m)
Stiff Clay :	248211.28	27000	18000	0.2	2.882	4.034
Very Stiff Clay	248211.28	54000	36000	0.2	2.423	3.39
Hard Clay	248211.28	110000	73333.3	0.2	2.028	2.84

Tabel 4. 9 Perhitungan letak titik jepit untuk Normally Consolidated

Normally-Consolidated	EI (kN.m)	n_h (kN/m ³)	T	Z_f (m)
Loose	248211.28	1400	2.82	5.07
Medium Dense	248211.28	5000	2.18	3.93
Dense	248211.28	12000	2.13	3.84

Dari Tabel 4.8 dan 4.9, selanjutnya ditentukan variasi tinggi model untuk setiap DWT kapal rencana. Sesuai dengan dasar teori, variasi tinggi model minimum merupakan penjumlahan dari $Z_f + 1\text{ m} + \text{sarat kapal pada kondisi muatan penuh} + \text{range pasang surut} + 0.5\text{ m}$. Variasi tinggi model dengan pasang surut 0 meter diberikan pada Tabel 4.10.



Tabel 4. 10 Variasi tinggi struktur (meter) dari titik jepit, untuk beberapa jenis tanah dan pasang surut 0 meter.

DWT (t)	Displ. (ton)	Full Loaded Draft(m)	Variasi Tinggi Struktur Pada Beberapa Jenis Tanah (m)					
			Stiff Clay	Very Stiff Clay	Hard Clay	Loose	Medium Dense	Dense
700	900	3.6	9.134	8.49	7.94	10.17	9.03	8.94
1000	1300	4.1	9.634	8.99	8.44	10.67	9.53	9.44
2000	2700	5.1	10.634	9.99	9.44	11.67	10.53	10.44
3000	4000	5.7	11.234	10.59	10.04	12.27	11.13	11.04
4000	5300	6.3	11.834	11.19	10.64	12.87	11.73	11.64
5000	6700	6.7	12.234	11.59	11.04	13.27	12.13	12.04
6000	8000	7.1	12.634	11.99	11.44	13.67	12.53	12.44
7000	9300	7.5	13.034	12.39	11.84	14.07	12.93	12.84
8000	10700	7.8	13.334	12.69	12.14	14.37	13.23	13.14
9000	12000	8.1	13.634	12.99	12.44	14.67	13.53	13.44
10000	13300	8.3	13.834	13.19	12.64	14.87	13.73	13.64
12000	16000	8.8	14.334	13.69	13.14	15.37	14.23	14.14
15000	20000	9.5	15.034	14.39	13.84	16.07	14.93	14.84
17000	22700	9.8	15.334	14.69	14.14	16.37	15.23	15.14
20000	26700	10.3	15.834	15.19	14.64	16.87	15.73	15.64

Dari Tabel 5.9, diketahui variasi terendah adalah 7.94 m oleh kapal 700 DWT pada jenis tanah *hard clay*, dan tertinggi 16.87 m oleh kapal 20000 DWT pada jenis tanah *loose*. Sehingga untuk memudahkan pembahasan, maka pada simulasi model, tinggi struktur divariasikan dalam 5, 10, 15, dan, 20 meter.

4.2.3 Penentuan Fender Rencana

Dari perhitungan beban *impact* untuk kapal 20,000 DWT, diperoleh energi *impact* akibat kecepatan sandar pada fender $E_f = 493.2$ kN. Sesuai dengan Gambar 2.7, maka fender acuan dipilih fender karet tipe V, dengan kemampuan menyerap energi benturan 50 %.

Dengan pemakaian fender rencana, berarti terjadi reduksi terhadap beban-baban tumbukan yang bekerja pada dermaga. Besar beban rencana setelah reduksi oleh fender rencana diberikan Tabel 4.11.



Tabel 4. 11 Rekapitulasi beban rencana efektif pada dermaga setelah dikurangi daya serap fender

DWT (ton)	Displacement (ton)	ILV pada setiap fender (kN)	BL pada setiap Bolder (kN)	ILW pada setiap fender (kN)	ILC pada setiap fender (kN)	HL pada setiap fender (kN)
700	900	10.42	100.00	28.58	16.14	40.00
1000	1300	15.12	100.00	28.58	18.38	40.00
2000	2700	31.23	123.24	28.58	22.86	45.03
3000	4000	46.18	166.53	28.58	25.55	53.87
4000	5300	61.37	206.00	29.13	28.24	61.20
5000	6700	77.33	234.00	33.05	30.03	66.80
6000	8000	92.45	260.00	36.69	31.82	72.00
7000	9300	107.71	286.00	40.33	33.62	77.20
8000	10700	123.70	314.00	43.55	34.96	80.00
9000	12000	138.83	340.00	45.37	36.31	80.00
10000	13300	153.65	366.00	47.19	37.20	80.00
12000	16000	184.85	420.00	50.97	39.44	80.00
15000	20000	231.42	500.00	57.14	42.58	80.00
17000	22700	262.09	527.00	57.14	43.93	85.40
20000	26700	308.22	567.00	57.14	46.17	93.40

Apabila beban rencana (Tabel 4.11) diuraikan menurut arah bekerjanya beban, akan didapat input beban untuk pemodelan sebagai berikut :

Tabel 4. 12 Proyeksi beban rencana akibat gerakan kapal menurut arah bekerjanya beban (kN)

DWT (ton)	ILV	ILV	BL	BL	HL	ILW	ILC
	x	y	y	z	z	y	Y
700	12.83	-2.26	100.00	87.00	-40.00	-28.58	-16.14
1000	18.62	-3.28	100.00	87.00	-40.00	-28.58	-18.38
2000	38.44	-6.78	123.24	107.22	-45.03	-28.58	-22.86
3000	56.84	-10.02	166.53	144.88	-53.87	-28.58	-25.55
4000	75.55	-13.32	206.00	179.22	-61.20	-29.13	-28.24
5000	95.20	-16.79	234.00	203.58	-66.80	-33.05	-30.03
6000	113.81	-20.07	260.00	226.20	-72.00	-36.69	-31.82
7000	132.60	-23.38	286.00	248.82	-77.20	-40.33	-33.62
8000	152.27	-26.85	314.00	273.18	-80.00	-43.55	-34.96
9000	170.90	-30.13	340.00	295.80	-80.00	-45.37	-36.31
10000	189.15	-33.35	366.00	318.42	-80.00	-47.19	-37.20
12000	227.55	-40.12	420.00	365.40	-80.00	-50.97	-39.44
15000	284.89	-50.23	500.00	435.00	-80.00	-57.14	-42.58
17000	322.63	-56.89	527.00	458.49	-85.40	-57.14	-43.93
20000	379.43	-66.90	567.00	493.29	-93.40	-57.14	-46.17

Tak ada tetesan yang lebih dicintai Allah selain dari tetesan air mata karena takut kepada Allah atau tetesan darah yang ditumpahkan di jalan Allah ta'ala (HR. Tirmidzi)

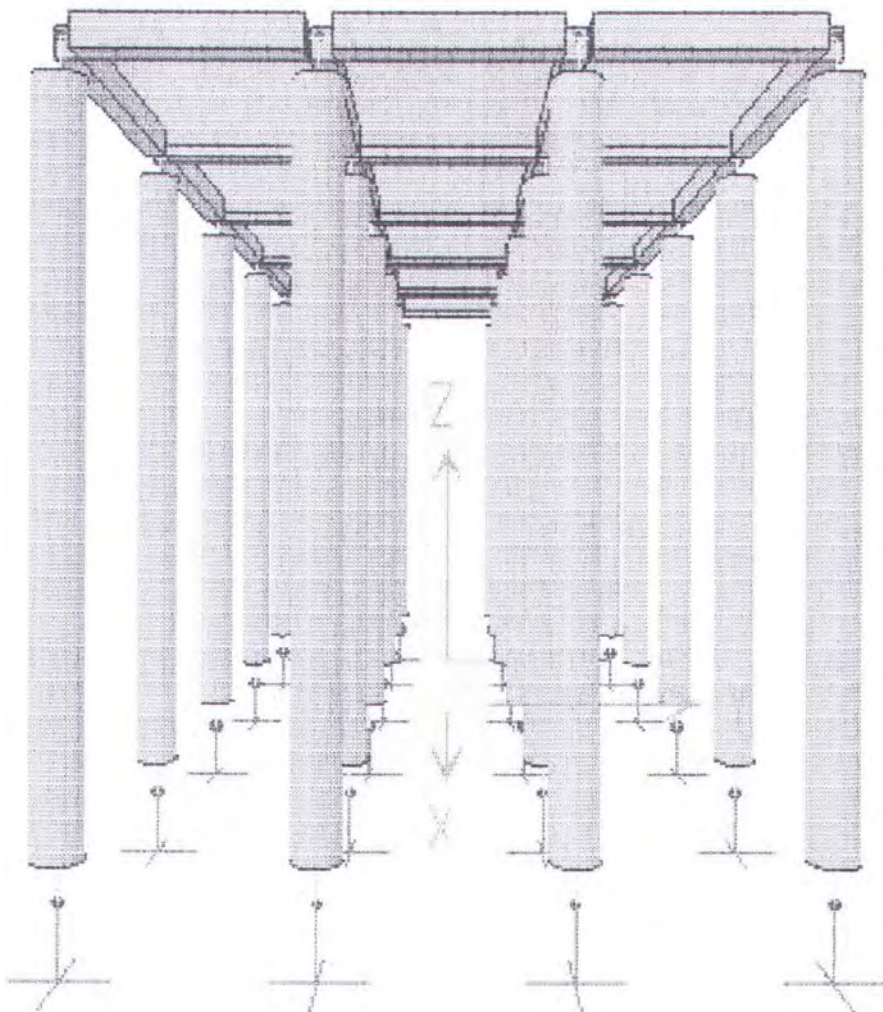
BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN



BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 5. 1 Model struktur dermaga terbuka dengan SAP 2000 non linear

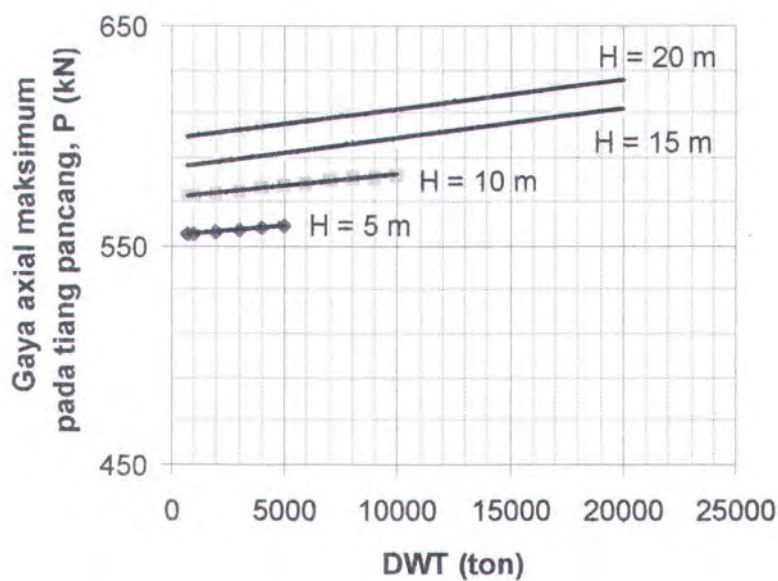


5.2 Pembahasan

Untuk mengetahui pengaruh dari beban-beban yang bekerja terhadap struktur dermaga, maka hasil-hasil yang didapat pada Tabel 5.1 sampai 5.6 diplot dalam Excel dan grafiknya seperti diperlihatkan pada Gambar 5.2 sampai 5.7.

5.2.1 Struktur Tiang Pancang

5.2.1.1 Gaya aksial maksimum pada tiang pancang



Gambar 5. 2 Grafik gaya aksial maksimum tiang pancang

Grafik gaya aksial maksimum tiang pancang sebagai fungsi DWT kapal, diperlihatkan pada Gambar 5.2. Pada setiap H yang ditinjau, gaya aksial yang terjadi memiliki pola gaya linear, dengan kemiringan berturut-turut: 0.0013, 0.0013, 0.0011, 0.0007 untuk $H = 20m$, $H = 15m$, $H = 10 m$, dan $H = 5m$. Dari informasi tersebut diketahui, bahwa :

- Semakin besar DWT kapal yang direncanakan, maka semakin besar gaya aksial yang dihasilkan pada tiang pancang.



- Semakin tinggi struktur yang digunakan, maka kemiringan kurva yang dibentuk semakin menuju pada suatu nilai tertentu (0.0013).
- Kemiringan yang dibentuk pada penambahan tinggi struktur 5 m, tidak terlalu signifikan.

Adapun pola gaya aksial tiang pancang yang dimaksud adalah sebagai berikut :

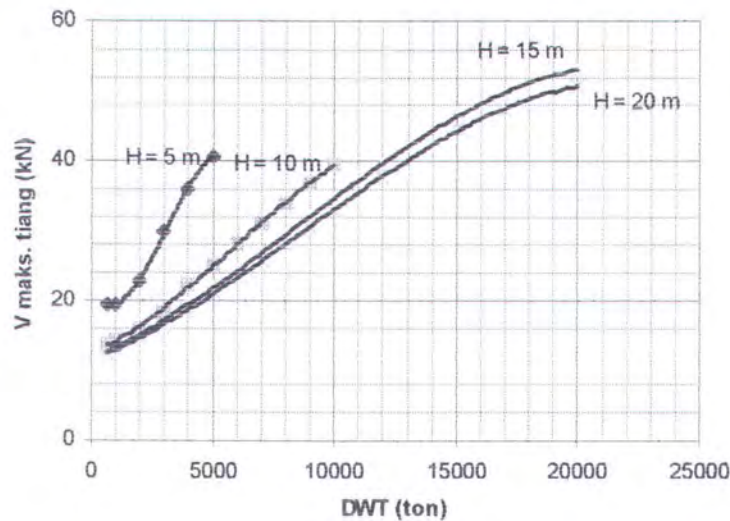
- Untuk $H = 20 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0013x + 598.29$, dengan : $R^2 = 0.994$
- Untuk $H = 15 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0013x + 585.36$, dengan : $R^2 = 0.9953$
- Untuk $H = 10 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0011x + 571.69$, dengan : $R^2 = 0.9918$
- Untuk $H = 5 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0007x + 554.76$, dengan : $R^2 = 0.9989$

Dengan mengurangi pengaruh akibat pembebanan DL dan LL, pada persamaan di atas, maka didapatkan pengaruh bobot kapal terhadap gaya aksial tiang sebagai berikut :

- Untuk $H = 20 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0013x + 11.883$
- Untuk $H = 15 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0013x + 11.078$
- Untuk $H = 10 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0011x + 9.470$
- Untuk $H = 5 \text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0007x + 5.898$

5.2.1.2 Gaya geser maksimum pada tiang pancang

Nalai-nilai gaya geser tiang maksimum ditunjukkan pada Tabel 5.2. Dari tabel tersebut kemudian diplot, sehingga didapatkan Grafik 5.3.



Gambar 5. 3 Grafik gaya geser maksimum tiang pancang

Dengan regresi polinomial orde 3, diperoleh persamaan-persamaan gaya geser maksimum tiang sebagai berikut:

Untuk $H = 5 \text{ m}$, $\rightarrow y = -4 \cdot 10^{-10} x^3 + 4 \cdot 10^{-6} x^2 - 0.0054x + 21.136$, ($R^2 = 0.9997$)

Untuk $H = 10 \text{ m}$, $\rightarrow y = -2 \cdot 10^{-11} x^3 + 3 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0015x + 12.324$, ($R^2 = 0.9985$)

Untuk $H = 15 \text{ m}$, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-12} x^3 + 1 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0015x + 11.576$, ($R^2 = 0.9996$)

Untuk $H = 20 \text{ m}$, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-12} x^3 + 1 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0014x + 11.354$, ($R^2 = 0.9996$)

dengan :

$x = \text{DWT kapal (ton)}$

$y = \text{gaya geser yang terjadi pada tiang pancang (kN)}$

Sehingga pengaruh bobot kapal terhadap gaya geser tiang mengikuti pola sebagai berikut :

- Untuk $H = 5 \text{ m}$, $\rightarrow y = -4 \cdot 10^{-10} x^3 + 4 \cdot 10^{-6} x^2 - 0.0054x + 10.404$
- Untuk $H = 10 \text{ m}$, $\rightarrow y = -2 \cdot 10^{-11} x^3 + 3 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0015x + 8.385$

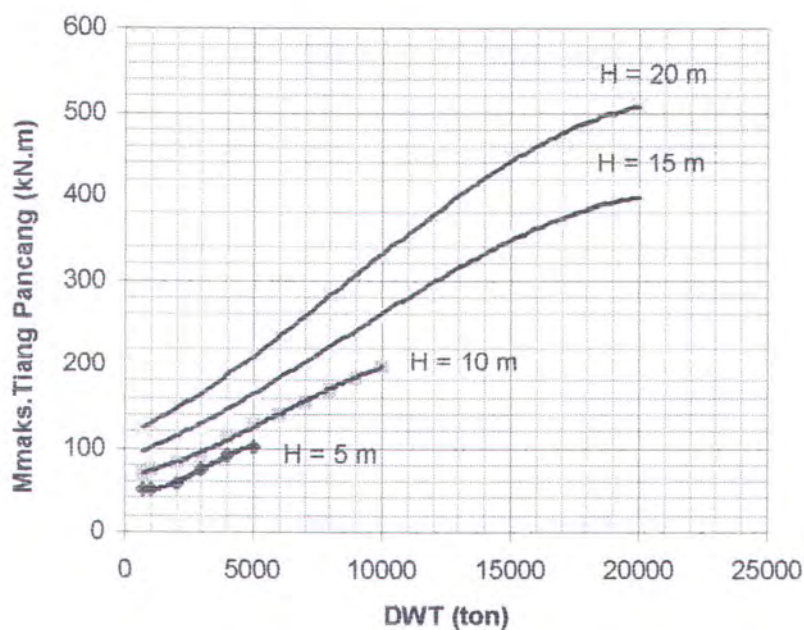


- Untuk $H = 15 \text{ m}$, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-12} x^3 + 10^{-7} x^2 + 0.0015x + 9.415$
- Untuk $H = 20 \text{ m}$, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-12} x^3 + 10^{-7} x^2 + 0.0014x + 9.940$

Masing-masing kurva kecuali untuk $H = 5 \text{ m}$, persamaan gaya geser polinomial dan cenderung mengarah pada nilai tertentu pada DWT kapal yang semakin kecil. Untuk $H = 5 \text{ m}$ kurva berbentuk polinomial, kecuali pada DWT lebih kecil 1000 ton kurva linear.

5.2.1.3 Momen maksimum tiang pancang

Pengaruh bobot kapal terhadap momen maksimum yang terjadi pada tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Grafik momen maksimum tiang pancang

Sebagaimana pada gaya aksial dan gaya geser tiang, kurva momen maksimum tiang diplot dengan pembatasan DWT kapal: 700 sampai 20000 ton untuk $H = 15$ dan 20 m, 700 sampai 10000 ton untuk $H = 10 \text{ m}$, dan 700 sampai 5000 ton untuk



$H = 5$ m, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.4. Pembatasan dilakukan dengan pertimbangan utilitas dari masing-masing kurva, terkait dengan sarat maksimum kapal rencana dan pasang surut.

Secara umum kurva pada Gambar 5.4 berbentuk polinomial derajat 3, semakin besar bobot kapal yang direncanakan, semakin besar momen tiang pancang yang dihasilkan. Pada pembebanan DWT kapal yang sama, penambahan tinggi struktur menyebabkan naiknya nilai momen maksimum tiang.

Pola momen maksimum tiang dari masing-masing kurva mengikuti persamaan-persamaan sebagai berikut :

- Untuk $H = 20$ m, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0.0139x + 114.31$, ($R^2 = 0.999$)
- Untuk $H = 15$ m, $\rightarrow y = -4 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0.0113x + 88.108$, ($R^2 = 0.999$)
- Untuk $H = 10$ m, $\rightarrow y = -9 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0.0064x + 64.654$, ($R^2 = 0.999$)
- Untuk $H = 5$ m, $\rightarrow y = -10^{-9}x^3 + 10^{-5}x^2 - 0.0132x + 54.27$, ($R^2 = 0.999$)

Sehingga pengaruh bobot kapal terhadap momen maksimum yang terjadi pada tiang pancang dapat dinyatakan sebagai berikut :

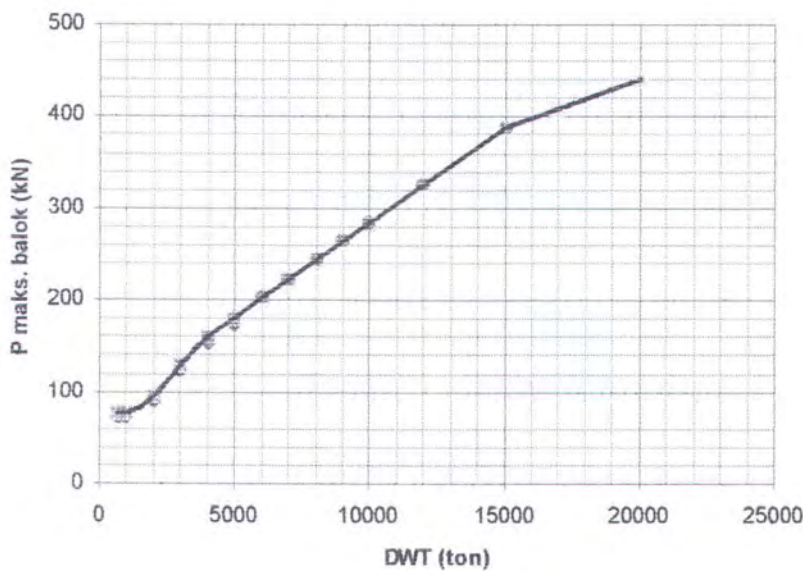
- Untuk $H = 20$ m, $\rightarrow y = -5 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0.0139x + 95.431$
- Untuk $H = 15$ m, $\rightarrow y = -4 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0.0113x + 66.459$
- Untuk $H = 10$ m, $\rightarrow y = -9 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0.0064x + 38.283$
- Untuk $H = 5$ m, $\rightarrow y = -10^{-9}x^3 + 10^{-5}x^2 - 0.0132x + 17.822$



5.2.2 Struktur Balok

5.2.2.1 Gaya aksial maksimum pada balok

Hubungan bobot kapal dengan gaya aksial yang terjadi dalam balok ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Grafik gaya aksial maksimum balok

Secara umum ditunjukkan bahwa gaya aksial balok akan semakin meningkat dengan bertambahnya bobot kapal rencana. Variasi tinggi struktur tidak berpengaruh terhadap gaya aksial yang terjadi, yang ditunjukkan dengan ke-empat grafik saling berimpit.

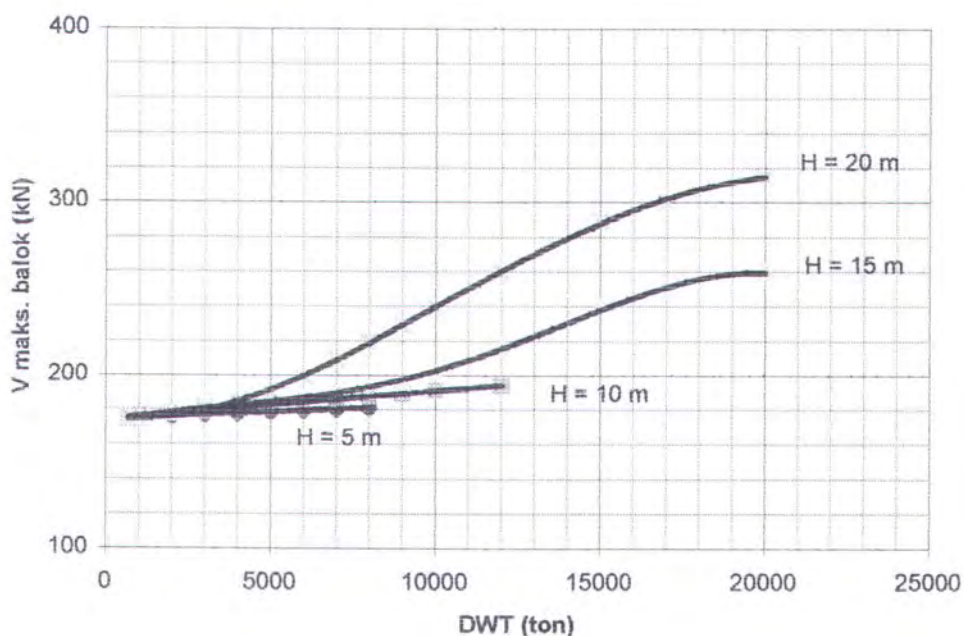
Untuk DWT antara 700 s/d 4000 ton, gaya aksial balok didekati dengan polinomial orde 4, sehingga menghasilkan persamaan: $y = -9 \cdot 10^{-16}x^4 - 8 \cdot 10^{-13}x^3 + 4 \cdot 10^{-7}x^2 + 0.0164x + 88.322$, dengan x = DWT kapal rencana (ton), dan y = gaya aksial yang terjadi pada balok (kN).



Untuk DWT antara 4000 s/d 20000 ton, kurva didekati secara linear. Karena pada DWT 15000 ton, terjadi belokkan kurva, yang berarti terdapat perbedaan gradien, maka kurva dibagi kedalam dua persamaan, antara lain :

- Untuk DWT 4000 s/d 15000 ton, persamaan gaya aksial balok yang dihasilkan adalah $y = 0.0207x + 77.057$, dengan koefisien korelasi $R^2 = 1$.
- Untuk DWT 15000 s/d 20000 ton, persamaan gaya aksial balok yang dihasilkan adalah $y = 0.0104x + 232.03$, dengan koefisien korelasi $R^2 = 1$.

5.2.2.2 Gaya geser maksimum pada balok



Gambar 5. 6 Grafik gaya geser maksimum balok

Grafik gaya geser maksimum yang terjadi pada balok sebagai fungsi DWT kapal ditunjukkan Gambar 5.6. Kurva gaya geser balok dari semua H yang ditinjau cenderung linear, pada DWT 4000 ton ke bawah. Pada DWT 4000 ton keatas, V



pada $H=5\text{m}$ dan $H=10\text{ m}$ masih linear, sedangkan $H=15\text{ m}$ dan $H=20\text{ m}$ polinomial. Adapun persamaan dari masing-masing kurva gaya geser balok adalah sebagai berikut :

- Untuk $H = 20\text{ m}$, $\rightarrow y = 7 \cdot 10^{-16}x^4 - 6 \cdot 10^{-11}x^3 + 1 \cdot 10^{-6}x^2 - 0.0028x + 176.09$
dengan $R^2 = 0.9993$
- Untuk $H = 15\text{ m}$, $\rightarrow y = -3 \cdot 10^{-15}x^4 + 9 \cdot 10^{-11}x^3 - 8 \cdot 10^{-07}x^2 + 0.0047x + 171.52$
dengan $R^2 = 0.9973$
- Untuk $H = 10\text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0017x + 174.25$
dengan $R^2 = 1$
- Untuk $H = 5\text{ m}$, $\rightarrow y = 0.0008x + 174.44$
dengan $R^2 = 1$

Dari persamaan di atas, diketahui terdapat kenaikan gradien kurva linear, dari $H=5\text{ m}$ ke $H=10\text{ m}$, yang berarti gaya geser yang dihasilkan juga semakin besar untuk pembebanan yang sama, begitu juga dengan dua kurva yang lain.

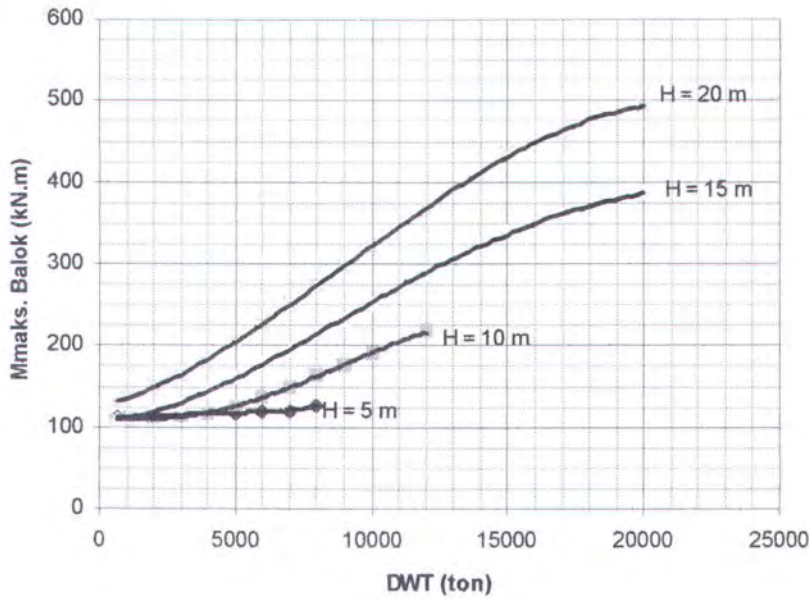
5.2.2.3 Momen maksimum balok

Momen maksimum yang terjadi pada balok sebagai fungsi DWT kapal diberikan pada Gambar 5.7. Masing-masing nilai momen didekati secara polinomial sehingga diperoleh kurva dengan persamaan momen maksimum balok sebagai berikut :

- $H = 20\text{m}$, $\rightarrow y = 6 \cdot 10^{-16}x^4 - 8 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0.0089x + 123.62$, ($R^2 = 0.999$)
- $H = 15\text{m}$, $\rightarrow y = 2 \cdot 10^{-15}x^4 - 1 \cdot 10^{-10}x^3 + 2 \cdot 10^{-06}x^2 + 0.0021x + 106.22$, ($R^2 = 0.999$)
- $H = 10\text{m}$, $\rightarrow y = -7 \cdot 10^{-15}x^4 + 9 \cdot 10^{-11}x^3 + 9 \cdot 10^{-07}x^2 - 0.0026x + 110.08$, ($R^2 = 0.999$)



▪ $H = 5\text{ m}, \rightarrow y = 3 \cdot 10^{-14} x^4 - 4 \cdot 10^{-10} x^3 + 2 \cdot 10^{-6} x^2 - 0.002x + 112.58, (R^2=0.996)$



Gambar 5. 7 Grafik momen maksimum pada balok

Pada tinggi struktur 20 m, momen maksimum balok diplot penuh dan naik secara polinomial mulai DWT 700 ton sampai landai pada DWT 20000 ton, sedangkan pada $H = 15$, momen maksimum balok masih linear sampai DWT 2000 ton, dan selanjutnya naik secara polinomial juga sampai landai pada DWT 20000 ton. Untuk $H = 10$ m dan 5m, kurva momen tidak diplot sampai dengan DWT 20000 ton, dengan pertimbangan utilitas kurva terkait dengan sarat maksimum kapal dan pasang surut. Sebagai ilustrasi, kapal *general cargo* 10000 DWT mempunyai 8.3 m, maka tidak mungkin digunakan struktur dermaga dengan tinggi hanya 5 m dari posisi Z_f . Berbeda lagi ketika dermaga direncanakan untuk kapal *general cargo* 3000 DWT, yang hanya memiliki sarat maksimum 5.7 meter, maka ada kemungkinan memakai $H = 20\text{ m}$ apabila memang kedalaman lokasi menuntut demikian.

"Di antara orang-orang mukmin ada orang-orang yang menepati apa yang telah mereka janjikan kepada Allah, maka di antara mereka ada yang gugur, dan di antara mereka ada (pula) yang menunggu-nunggu dan mereka tidak sedikit pun merobah (janjinya)." (QS.Al Ahzab, 33:23)

BAB VI

STUDI KASUS



BAB VI

STUDI KASUS

Dari hasil analisa dan pembahasan, kemudian dilakukan studi kasus pada Dermaga Umum Pelabuhan Probolinggo, PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia III.

6.1 Data Studi

6.1.1 Data kapal rencana

Dari Laporan Akhir Studi Kelayakan Pengembangan Dermaga Umum Pelabuhan Probolinggo oleh Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, untuk Pelabuhan Probolinggo diperoleh data kapal rencana sebagai berikut :

- Tonage maksimum kapal rencana = 5000 DWT
- Panjang = 103 m
- Lebar = 5.4 m
- Draft maksimum = 6.8 m

6.1.2 Kondisi tanah dasar

Tanah dasar pada lokasi Dermaga Umum Pelabuhan Probolinggo diketahui berjenis pasir.

6.1.3 Data pasang surut

Dari Laporan Akhir Studi Kelayakan Pengembangan Dermaga Umum Pelabuhan Probolinggo oleh Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, diketahui data pasang surut Pelabuhan Probolinggo sebagai berikut :



- Elevasi muka air pasang tertinggi (HWS) : + 3.12 m
- Elevasi muka air pasang terendah (LWS) : - 0.33 m
- Elevasi muka air tengah (MSL) : + 1.40 m

6.2 Perencanaan Dermaga

6.2.1 Perhitungan tinggi struktur

Dengan mengambil kolom acuan WIKA PILE dengan diameter 60 cm, *section modulus* $S = 17648.44 \text{ cm}^3$, maka momen inersia $I = 592440 \text{ cm}^4 = 0.0052944 \text{ m}^4$. Modulus YOUNG beton $E = 20 \text{ Gpa}$, sehingga dengan Persamaan 2.14 dihitung letak titik jepit Z_f . Untuk tanah pasir lepas, harga koefisien modulus $n_h = 1400 \text{ kN/m}$ (Tabel 2.6), maka :

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = 2.38$$

Sehingga : $Z_f = 1.8 T = 4.28 \text{ m}$

Jadi tinggi struktur dermaga yang dibutuhkan sampai titik jepit (Z_f) adalah:

$$H = Z_f + 1m + \text{Draft maksimum} + \text{range pasang surut} + 0.5m$$

$$H = 4.28 + 1 + 6.8 + 3.45 + 0.5$$

$$H = 16.03 \text{ meter.}$$

6.2.2 Pembacaan grafik

Dengan diketahui data kapal rencana 5000 DWT dan tinggi struktur 16.03 m, maka nilai gaya-gaya dapat dibaca dari grafik pada Gambar 5.2 sampai 5.7.



Karena $H = 16.03$ meter, terletak antara $H = 15$ dan 20 m, maka dilakukan interpolasi gaya dalam untuk DWT 5000 ton sebagai berikut :

Tabel 6. 1 Hasil pembacaan grafik dan interpolasi gaya-gaya dalam tiang pancang

H (m)	Pmaks. (kN)	V maks.(kN)	Mu (kN.m)
15.00	591.86	20.95	164.61
16.03	594.52	20.80	172.43
20.00	604.79	20.23	202.56

Tabel 6. 2 Hasil pembacaan grafik dan interpolasi gaya-gaya dalam balok

H (m)	Pmaks. (kN)	V maks.(kN)	Mu (kN.m)
15.00	180.56	184.40	155.47
16.03	180.56	183.41	166.39
20.00	180.56	179.59	208.50

6.2.3 Perencanaan tiang pancang

Momen maksimum tiang :

$$M_{maks.} = 172.43 \text{ kN.m} = 172.43 \times 0.1020 \text{ ton.m} = 17.59 \text{ ton.m.}$$

Karena dalam lingkungan air laut beton tidak boleh retak, maka digunakan momen crack. Dengan memakai tiang pancang produksi PT. Wijaya Karya, maka tiang pancang yang sesuai untuk data kapal yang dimaksud dipilih tiang pancang dengan diameter 60 cm, tebal 10 cm, class A3.

6.2.4 Perencanaan balok

Balok direncanakan dari beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Mutu beton, } f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja, } f_y = 240 \text{ MPa}$$



Dari pembacaan grafik diketahui momen ultimate balok, $M_u = 166.39 \text{ kN}$, maka :

$$M_{n \text{ perlu}} = M_u / \phi = 166.39 / 0.8 = 207.99 \text{ kN.m}$$

Periksa balok sebagai tulangan tunggal :

$$\rho_b = \left(\frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = (0.85 * 30 * 0.85 / 240) (600 / (600 + 240)) = 0.0645 = 6.45 \%$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \rho_b = 0.0484$$

Diambil $\rho = 0.5 \rho_{maks} = 0.0242$

$$R_n = \rho \bullet f_y \left(1 - \frac{0.59 \rho \bullet f_y}{f'_c} \right) = 0.0322 * 240 * (1 - 0.59 * 0.0322 * 240 / 40)$$

$$R_n = 5.1429 \text{ MPa}$$

$$b \bullet d^2 = \frac{M_n}{R_n} = 207.988 / 5.1429 = 0.0404 \text{ m}^3.$$

$b = 0.5d$, maka :

$$d^3 = 0.08088 \text{ m}^3.$$

Jadi : $d = 0.4324 \text{ m} = 43.24 \text{ cm}$, dan $b = 0.216 \text{ m} = 21.6 \text{ cm}$

Diambil dimensi penampang $b = 25 \text{ cm}$ dan $h = 50 \text{ cm}$.

$$A_s = \rho b d = 0.0242 * 250 * (500 - 60) = 2660.99 \text{ mm}^2.$$

Jika dipakai tulangan D-21 yang memiliki luas penampang 314.2 mm^2 , maka jumlah tulangan yang diperlukan :

$$n = \frac{2660.99}{314.36} = 7.68 \text{ batang}$$

dibulatkan menjadi 8D-20, dengan luas $A_s = 2770.885 \text{ mm}^2$.



Jadi kebutuhan tulangan yang baru adalah $\rho = \frac{2770.89}{440} = 0.0252$

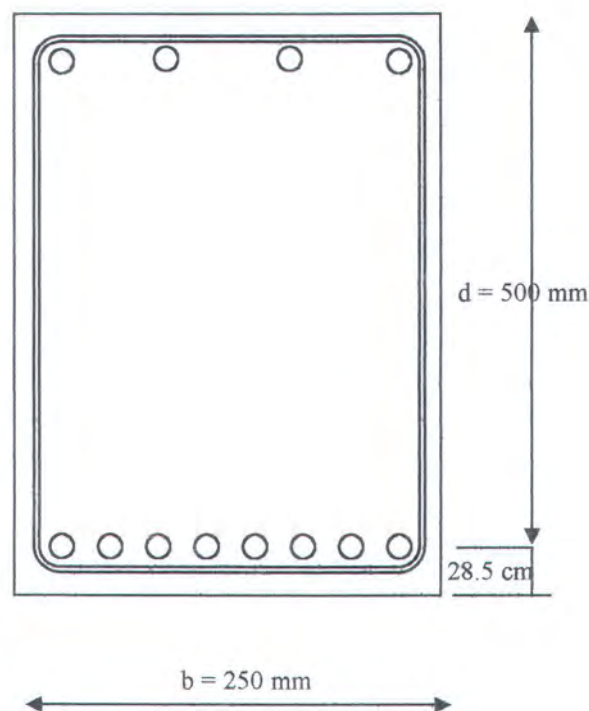
Sedangkan kebutuhan tulangan tekan adalah :

$$A_s' = 0.5 * A_s = 1330.495 \text{ mm}^2.$$

pabila dipakai tulangan D-21, maka jumlah tulangan tekan yang diperlukan :

$$N = 1330.495 / 346.36 = 3.84, \text{ dibulatkan menjadi 4 buah.}$$

Sket penulangan balok dermaga adalah sebagai berikut :



Gambar 6. 1 Sket penulangan balok

"Apakah kamu mengira bahwa kamu akan masuk syurga, padahal belum datang kepadamu (cobaan) sebagaimana halnya orang-orang terdahulu sebelum kamu? Mereka ditimpa oleh malapetaka dan kesengsaraan, serta digoncangkan (dengan bermacam-macam cobaan) sehingga berkatalah Rasul dan orang-orang yang beriman bersamanya, 'Bilakah datangnya pertolongan Allah?' Ingatlah sesungguhnya pertolongan Allah itu amat dekat." (QS. Albaqorah, 2:214).

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN



VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan studi kasus yang telah dilakukan, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum pengaruh bobot kapal (DWT) terhadap respon struktur dermaga terbuka untuk berbagai fungsi kedalaman perairan dapat dinyatakan sebagai berikut :
 - a. Untuk tiang pancang :
 - Gaya aksial ultimate merupakan fungsi linear terhadap DWT kapal.
 - Gaya geser ultimate merupakan fungsi polinomial orde tiga terhadap DWT kapal, demikian juga dengan momen ultimate.
 - b. Untuk balok dermaga :
 - Gaya aksial ultimate tidak dipengaruhi oleh tinggi dermaga.
 - Untuk kapal antara 700 ~ 4000 DWT, gaya aksial merupakan fungsi polinomial terhadap DWT kapal.
 - Untuk kapal antara 4000 ~ 15000 dan 15000 ~ 20000 DWT, gaya aksial masing-masing linear terhadap DWT.
 - Gaya geser ultimate merupakan fungsi polinomial orde 4 terhadap DWT kapal pada $H = 20$ dan 15 m , dan linear terhadap DWT kapal untuk $H=10$ dan 5 m .



- Momen ultimate merupakan fungsi polinomial orde 4 terhadap DWT kapal.
2. Dari studi kasus pada Pelabuhan Probolinggo, PT. (persero) Pelabuhan Indonesia III Cabang Probolinggo, didapatkan ukuran struktur dermaga sebagai berikut :
- Struktur tiang pancang beton precast-prestress diameter 60 cm, tebal 10 cm, kelas A3, menurut PT. Wijaya Karya.
 - Struktur balok beton *cast in situ*, ukuran 50 x 25 cm, dengan mutu beton $f'_c = 30$ Mpa, mutu baja $f_y = 240$ Mpa, penulangan tarik 8D-20, dan penulangan tekan 4D-20.

7.2 Saran

Untuk lebih sempurnanya studi ini, beberapa hal yang perlu disarankan antara lain:

1. Dilakukan variasi dimensi dermaga, meliputi variasi lebar dan panjang dermaga, jarak antar tiang pancang, serta sudut kemiringan tiang pancang.
2. Dilakukan dengan pembebanan yang lebih kompleks, seperti variasi kecepatan dan sudut sandar kapal, dan beban gempa.



DAFTAR PUSTAKA

- Kia Wang, C., Charles G. Salmon, Binsar Harianjaya, *Desain Beton Bertulang*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993.
- Kramadibrata, *Perencanaan Pelabuhan*, Ganexa Exact, Bandung, 1985.
- Mosley, W.H., J.H. Bungey, *Perencanaan Beton Bertulang*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1984.
- Quinn, Alonzo DeF., *Design and Construction of Ports and Marine Structures*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1972
- Thomlinson, *Pile Design And Construction Practice*, A Viewpoint Publication, London, 1977.
- Thoresen, Carl.A., *Port Design Guidelines and Recommendations*, Tapir Publishers, Trondheim-Norway, 1988.
- Triatmodjo, B., *Pelabuhan*, Beta offset, Yogyakarta, 1996.
- Tsinker, Gregory P., *Floating Dock Design and Construction Practices*, Gulf Publishing Company, Houston-Texas, 1986.
- Wahyudi, H., *Diktat Kuliah Pondasi Dalam*, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya, 1998.



LAMPIRAN - LAMPIRAN

HASIL RUNNING MODEL PADA PEMBEBANAN KAPAL 700 DWT

700 DWT	FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3	
	F1	COMB5		0	-154.635	-6.4719	-13.7381	-1.90E-02	-33.0096	-10.3758
	F1	COMB3		0	-154.419	-6.41264	-13.6582	-1.15E-01	-32.7973	-10.2103
	F1	COMB5		2.5	-145.21	-6.4719	-13.7381	-1.90E-02	1.335607	5.803982
	F4	COMB5		5	-273.027	1.40E-02	-16.5113	3.32E-03	45.08003	-6.52E-02
	F4	COMB2		2.5	-269.515	8.27E-02	-6.32292	-7.03E-02	5.569132	-2.31E-02
	F4	COMB1		2.5	-269.438	1.40E-02	-6.27251	3.32E-03	5.579089	-3.02E-02
	F4	COMB4		2.5	-265.949	8.84E-02	-3.79146	0.5697224	6.059027	-4.05E-02
	F4	COMB2		5	-260.091	8.27E-02	-6.32292	-7.03E-02	21.37643	-0.22984
	F4	COMB1		5	-260.013	1.40E-02	-6.27251	3.32E-03	21.26037	-6.52E-02
	F4	COMB4		5	-256.524	8.84E-02	-3.79146	0.5697224	15.53768	-2.62E-01
	F5	COMB3		0	-305.96	-0.51657	-16.7694	-1.30E-01	-38.2659	-0.82326
	F5	COMB5		0	-305.579	-0.58367	-16.4186	3.92E-03	-37.3272	-0.99751
	F5	COMB3		2.5	-296.535	-0.51657	-16.7694	-1.30E-01	3.657619	0.468171
	F5	COMB5		2.5	-296.154	-0.58367	-16.4186	3.92E-03	3.719203	0.461665
	F5	COMB2		0	-292.815	-0.51657	-6.38396	-1.30E-01	-10.5017	-0.82326
	F5	COMB1		0	-292.565	-0.58367	-6.17981	3.92E-03	-9.95308	-0.99751
	F5	COMB3		5	-287.11	-0.51657	-16.7694	-1.30E-01	45.58116	1.759607
	F5	COMB5		5	-286.73	-0.58367	-16.4186	3.92E-03	44.76562	1.920842
	F5	COMB4		0	-284.361	-0.36195	-9.82E-02	2.167418	6.359323	-0.48623
	F5	COMB2		2.5	-283.391	-0.51657	-6.38396	-1.30E-01	5.458222	0.468171
	F5	COMB1		2.5	-283.14	-0.58367	-6.17981	3.92E-03	5.496443	0.461665
	F13	COMB4		0	-258.858	-10.8661	17.31058	-1.107325	43.34242	-17.4655
	F13	COMB5		5	-256.997	-10.7316	-11.563	1.70E-02	28.14993	36.44798
	F13	COMB3		5	-254.296	-10.171	-11.2412	-0.2297667	27.14476	35.16164
	F13	COMB1		5	-250.57	-10.7316	0.392824	1.70E-02	-1.33753	36.44798
	F13	COMB2		5	-249.93	-10.171	0.651873	-0.2297667	-1.97561	35.16164
	F13	COMB4		2.5	-249.433	-10.8661	17.31058	-1.107325	0.065973	9.699799
	F13	COMB4		5	-240.008	-10.8661	17.31058	-1.107325	-43.2105	36.8651
	F14	COMB5		0	-555.289	0.749424	-11.0286	6.13E-03	-28.8072	1.29758
	F14	COMB3		0	-553.381	1.396333	-10.8842	-0.1905805	-28.6515	2.954954
	F14	COMB2		0	-549.015	1.396333	1.008889	-0.1905805	1.693756	2.95E+00
	F14	COMB1		0	-548.862	0.749424	0.927277	6.13E-03	1.484422	1.29758
	F14	COMB4		0	-546.253	0.674272	7.885021	-1.426349	19.21812	1.148154
	F14	COMB5		2.5	-545.864	0.749424	-11.0286	6.13E-03	-1.23587	-0.57598
	F14	COMB3		2.5	-543.956	1.396333	-10.8842	-0.1905805	-1.44089	-0.53588
	F14	COMB2		2.5	-539.591	1.396333	1.008889	-0.1905805	-0.82847	-0.53588
	F14	COMB1		2.5	-539.437	0.749424	0.927277	6.13E-03	-0.83377	-0.57598
	F14	COMB4		2.5	-536.828	0.674272	7.885021	-1.426349	-0.49444	-0.53753
	F16	COMB4		0	-529.447	7.86E-03	3.740253	0.3932348	8.705404	-6.25E-03
	F16	COMB5		2.5	-527.524	2.57E-03	-11.0711	-2.39E-03	-1.19857	-3.07E-02
	F16	COMB3		2.5	-525.513	0.640048	-11.0666	-0.2128587	-1.41186	2.14E-02
	F16	COMB2		2.5	-521.148	0.640048	0.826512	-0.2128587	-0.79944	2.14E-02
	F16	COMB1		2.5	-521.097	2.57E-03	0.884739	-2.39E-03	-0.79647	-3.07E-02
	F16	COMB4		2.5	-520.022	7.86E-03	3.740253	0.3932348	-0.64523	-2.59E-02
	F16	COMB5		5	-518.099	2.57E-03	-11.0711	-2.39E-03	26.47914	-3.71E-02
	F16	COMB3		5	-516.089	0.640048	-11.0666	-0.2128587	26.25464	-1.57873
	F16	COMB2		5	-511.723	0.640048	0.826512	-0.2128587	-2.86572	-1.57873
	F16	COMB1		5	-511.672	2.57E-03	0.884739	-2.39E-03	-3.00831	-3.71E-02
	F16	COMB4		5	-510.598	7.86E-03	3.740253	0.3932348	-9.99586	-4.56E-02
	F17	COMB5		0	-555.289	-0.74942	-11.0286	-6.13E-03	-28.8072	-1.29758
	F17	COMB3		0	-553.117	-9.70E-02	-11.1972	-0.2614985	-29.4526	0.374019
	F17	COMB1		0	-548.862	-0.74942	0.927277	-6.13E-03	1.484422	-1.29758
	F17	COMB2		0	-548.752	-9.70E-02	6.96E-01	-0.2614985	0.892558	0.374019
	F17	COMB4		0	-546.253	-0.67427	7.885021	1.426349	19.21812	-1.14815
	F18	COMB1		0	-269.42	10.73157	0.392824	-1.70E-02	0.626589	17.20988
	F18	COMB5		2.5	-266.422	10.73157	-11.563	-1.70E-02	-0.75757	-9.61905
	F18	COMB3		2.5	-265.161	11.29557	-12.1648	-0.3423947	-0.99757	-9.49946
	F18	COMB2		2.5	-260.796	11.29557	-2.72E-01	-0.3423948	-0.38515	-9.49946
	F18	COMB1		2.5	-259.995	10.73157	0.392824	-1.70E-02	-0.35547	-9.61905
	F18	COMB4		0	-258.858	10.86612	17.31058	1.107325	43.34242	17.4655

F18	COMB5	5	-256.997	10.73157	-11.563	-1.70E-02	28.14993	-36.448
F18	COMB3	5	-255.737	11.29557	-12.1648	-0.3423947	29.41442	-37.7384
F18	COMB2	5	-251.371	11.29557	-2.72E-01	-0.3423948	0.294056	-37.7384
F18	COMB1	5	-250.57	10.73157	0.392824	-1.70E-02	-1.33753	-36.448
F18	COMB4	2.5	-249.433	10.86612	17.31058	1.107325	0.065973	-9.6998
F18	COMB4	5	-240.008	10.86612	17.31058	1.107325	-43.2105	-36.8651
F19	COMB5	0	-166.991	-6.4719	-7.43169	1.90E-02	-23.1465	-10.3758
F19	COMB5	2.5	-157.567	-6.4719	-7.43169	1.90E-02	-4.56731	5.803982
F19	COMB5	5	-148.142	-6.4719	-7.43169	1.90E-02	14.01191	21.98373
F19	COMB1	0	-141.621	-6.4719	3.499309	1.90E-02	5.635426	-10.3758
F19	COMB2	0	-140.936	-5.43014	3.73097	-0.2073691	6.248805	-7.57367
F20	COMB2	0	-292.964	1.778577	6.251131	-0.1548899	10.14564	4.05713
F20	COMB1	0	-292.565	0.583671	6.179807	3.92E-03	9.953076	0.997513
F20	COMB4	2.5	-288.77	0.47754	12.32844	-2.280697	-4.44229	-0.20074
F20	COMB2	2.5	-283.539	1.778577	6.251131	-0.1548899	-5.48219	-0.38931
F20	COMB1	2.5	-283.14	0.583671	6.179807	3.92E-03	-5.49644	-0.46166
F20	COMB3	0	-279.533	1.778577	-4.40367	-0.1548899	-18.3458	4.05713
F20	COMB4	5	-279.345	0.47754	12.32844	-2.280697	-35.2634	-1.39459
F20	COMB2	5	-274.115	1.778577	6.251131	-0.1548899	-21.11	-4.83575
F20	COMB1	5	-273.716	0.583671	6.179807	3.92E-03	-20.946	-1.92084
F20	COMB3	2.5	-270.108	1.778577	-4.40367	-0.1548899	-7.3366	-0.38931
F20	COMB3	5	-260.684	1.778577	-4.40367	-0.1548899	3.67257	-4.83575
F21	COMB3	0	-265.384	1.182948	-4.37122	-0.1492513	-18.3599	3.080842
F21	COMB4	5	-264.227	1.23E-01	8.74894	-0.5475877	-26.9685	-0.33881
F21	COMB1	5	-260.013	-1.40E-02	6.272513	3.32E-03	-21.2604	6.52E-02
F21	COMB2	5	-259.965	1.182948	6.283578	-0.1492513	-21.2864	-2.8339
F22	COMB2	5	-259.967	1.248706	6.222465	-0.1789182	-21.1453	-3.056
F22	COMB3	2.5	-255.961	1.248706	-4.43233	-0.1789182	-7.44356	6.58E-02
F22	COMB3	5	-246.536	1.248706	-4.43233	-0.1789182	3.637276	-3.056
F23	COMB5	0	-317.935	-0.58367	-4.75119	-3.92E-03	-18.8289	-0.99751
F23	COMB5	2.5	-308.511	-0.58367	-4.75119	-3.92E-03	-6.95091	0.461665
F23	COMB5	5	-299.086	-0.58367	-4.75119	-3.92E-03	4.927066	1.920842
F23	COMB4	0	-298.194	-0.47754	12.32844	2.280697	26.37882	-0.9931
F23	COMB1	0	-292.565	-0.58367	6.179807	-3.92E-03	9.953076	-0.99751
F23	COMB2	0	-291.893	0.729604	5.978113	-0.2452994	9.409515	2.362309
F23	COMB4	2.5	-288.77	-0.47754	12.32844	2.280697	-4.44229	0.200745
F23	COMB1	2.5	-283.14	-0.58367	6.179807	-3.92E-03	-5.49644	0.461665
F23	COMB2	2.5	-282.468	0.729604	5.978113	-0.2452994	-5.53577	0.538298
F24	COMB2	5	-123.146	7.684109	2.898543	-0.3776522	-10.4536	-24.7849
F24	COMB1	5	-122.772	6.471898	3.499309	-1.90E-02	-11.8611	-21.9837
F24	COMB3	2.5	-119.139	7.684109	-7.75626	-0.3776522	-5.06169	-5.57464
F24	COMB3	5	-109.715	7.684109	-7.75626	-0.3776522	14.32896	-24.7849
F24	COMB4	0	-77.42	6.818271	19.30056	2.204078	46.87829	10.71814
F24	COMB4	2.5	-67.9952	6.818271	19.30056	2.204078	-1.3731	-6.32754
F24	COMB4	5	-58.5704	6.818271	19.30056	2.204078	-49.6245	-23.3732

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
F54	COMB3	0	-40.3086	-115.627	1.08769	5.37E-02	1.57066	-54.7026
F54	COMB3	0.75	-40.3086	-67.4998	1.08769	5.37E-02	0.754892	13.97003
F53	COMB5	3	-39.9154	76.60999	-9.56E-02	1.49E-01	1.47E-01	2.672282
F56	COMB5	3	-39.9154	76.60999	9.56E-02	-1.49E-01	-1.47E-01	2.672282
F57	COMB3	0	-39.5711	-71.8605	0.846105	5.13E+00	1.320725	-39.4458
F57	COMB3	0.75	-39.5711	-45.273	0.846105	5.13E+00	0.686146	4.479254
F57	COMB3	1.5	-39.5711	-1.87E+01	0.846105	5.13E+00	5.16E-02	28.46371
F57	COMB3	2.25	-39.5711	7.901982	0.846105	5.13E+00	-0.58301	32.50753
F57	COMB3	3	-39.5711	34.48948	0.846105	5.13E+00	-1.21759	16.61073
F52	COMB3	0	-37.5155	-70.8305	0.529044	-4.88E+00	0.760808	-38.2346
F52	COMB3	0.75	-37.5155	-44.243	0.529044	-4.88E+00	0.364025	4.917987
F52	COMB3	1.5	-37.5155	-1.77E+01	0.529044	-4.88E+00	-3.28E-02	28.12991
F52	COMB3	2.25	-37.5155	8.932017	0.529044	-4.88E+00	-0.42954	31.40121
F52	COMB3	3	-37.5155	35.51952	0.529044	-4.88E+00	-0.82632	14.73189



KOTAMADYA DATI II PROBOLINGGO

Lokasi Studi

SELAT MADURA

Fishing Port



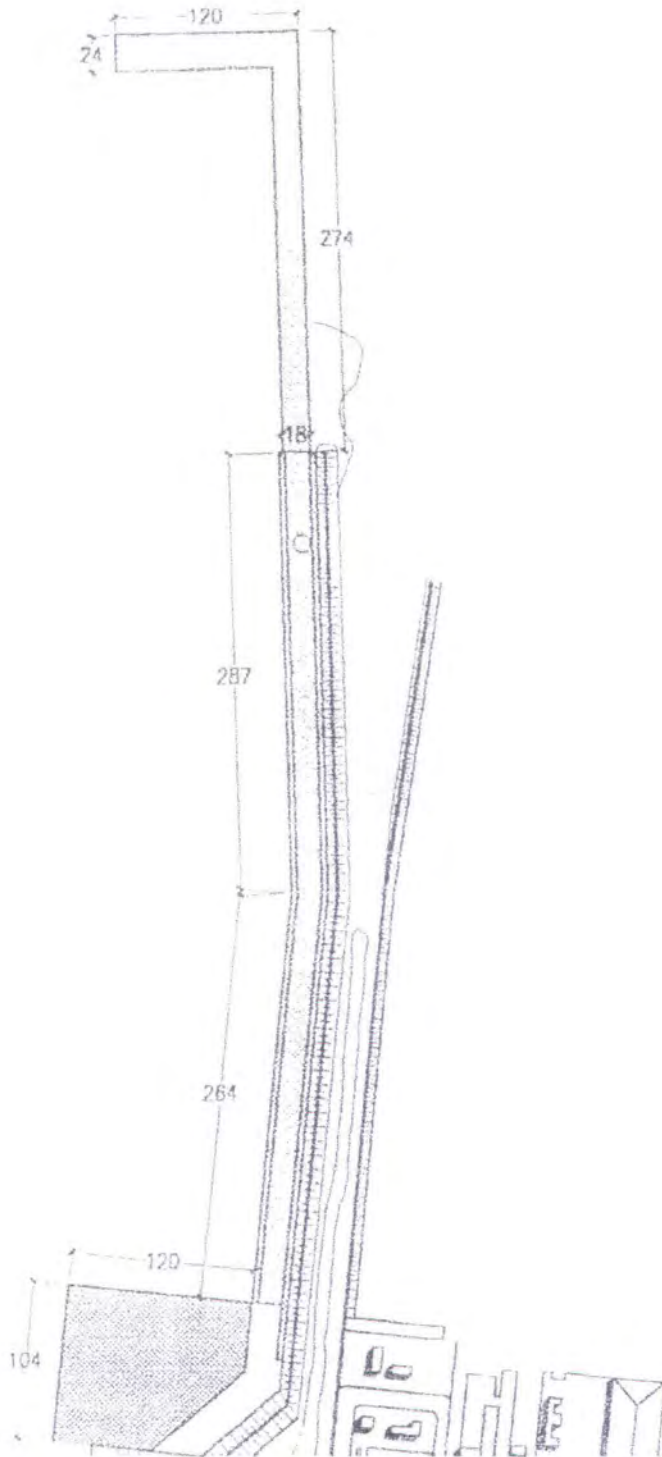
KONSEP TATA RUANG TERPILIH

KETERANGAN :

- | | |
|--|------------------------|
| | PERMUKIMAN |
| | INDUSTRI & PERDAGANGAN |
| | PERDAGANGAN |
| | PERKANTORAN |
| | PEMERINTAHAN |
| | FASILITAS SOSIAL |
| | SAWAH |
| | TERMINAL / STASIUN |
| | KUBURAN |



SELAT MADURA



KETERANGAN



ZONA LAPANGAN
PENJUMPAN



DERMAGA



COUSE WAY

Kedalaman rata-rata 5 s/d -7 LWS



LOKASI : PELABUHAN PROBOINGGO



0 20 40 60 80 100m

